



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	30. 06. 2009
ОРГАНИЗЈЕД:	БРОЈ
0603	9/72G

# Uticaj osnovnih kontrolnih parametara programa MAGICC na promenu procenjene srednje globalne temperature

- diplomski rad -

**Mentor:**

dr Milica Pavkov-Hrvojević

**Kandidat:**

Milica Rebić

Novi Sad, 2009.

## Sadržaj

<b>1. Teorija gasova staklene bašte.....</b>	<b>3</b>
1.1Uvod.....	3
1.2. Osnovni pojmovi i koncentracije gasova staklene bašte.....	7
1.2.1. Efekat staklene bašte.....	9
1.2.2. Vodena para.....	12
<i>Proces kruženja vode u prirodi.....</i>	13
1.2.3. Ugljen-dioksid (CO <sub>2</sub> ).....	14
<i>Koeficijent emisije ugljen-dioksid.....</i>	17
1.2.4. Metan ( CH <sub>4</sub> ).....	18
1.2.5. Halougljenici.....	21
1.2.6. Azotni oksidi (N <sub>2</sub> O).....	22
<i>Emisija azotnih oksida.....</i>	23
1.2.7. Ozon (O <sub>3</sub> ).....	27
<b>2. Ciklus ugljenika.....</b>	<b>29</b>
2.1.Emisija ugljenika iz fosilnih goriva.....	32
2.2.Kruženje ugljenika i prirodi.....	34
<b>3. Prirodni i antropogeni aerosoli.....</b>	<b>35</b>
3.1. Aerosoli.....	35
3.2 Prirodni aerosoli.....	36
3.3. Antropogeni aerosoli.....	37
<b>4. IPCC scenariji emisije.....</b>	<b>38</b>
4.1 Predviđanje srednjih globalnih temperatura.....	41
4.2 Kjoto protokol.....	43
<i>Kjoto protokol i klimatske promene.....</i>	43
<i>Kjoto protokol uz UNFCCC.....</i>	43
<i>Mehanizam čestog razvoja Kjoto protokola.....</i>	44
<b>5. Uticaj promene emisije CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta, efekta klimatske povratne sprege u ugljenikovom ciklusu i promene forsiranja aerosolima na promenu procenjene srednje temperature.....</b>	<b>46</b>
5.1. Parametri modela.....	47



5.1.1. Model ugljenikovog ciklusa.....	47
5.1.2. C-ciklus klimatske povratne sprege.....	47
5.1.3 Forsiranje aerosolima.....	48
5.1.4. Klimatska osetljivost.....	48
5.1.5. Termohalinska cirkulacija.....	49
5.1.6. Vertikalna difuzivnost.....	49
5.2. Analiza klimatskih posledica usled određenih promena parametara modela.....	49
5.2.1. Promena procenjene srednje temperature sa uključenom klimatskom povratnom spregom u ugljenikovom ciklusu, za različite vrednosti ostalih kontrolnih parametara.....	50
5.2.2. Promena procenjene srednje temperature sa isključenom klimatskom povratnom spregom u ugljenikovom ciklusu, za različite vrednosti ostalih kontrolnih parametara.....	59
5.3. Analiza dobijenih rezultata.....	68
5.4. Zaključak.....	71
<b>Literatura.....</b>	<b>72</b>

## 1. Teorija gasova staklene baste

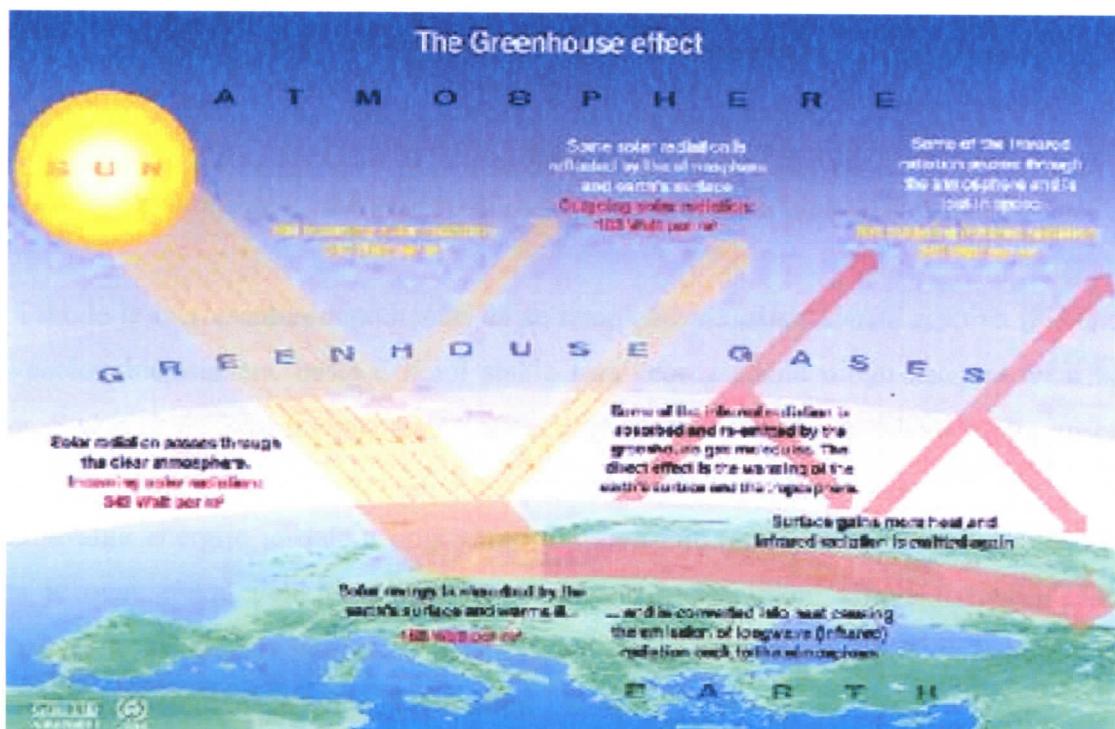
### 1.1 Uvod

Značajan uticaj na vreme i klimu ima čovekova aktivnost. Jedan od najznačajnijih uticaja je vezan za početak razvoja poljoprivrede, koje se ogledalo u krčenju i unistavanju šuma i drugog rastinja. Kao posledica toga povećavala se brzina vetra u prizemlju, menjao se režim temperature i vlažnosti, a donekle i padavina. Menjao se i režim vlažnosti tla, isparavanja i oticanja sa kopnene površine. Drugi vid uticaja čoveka na klimu je navodnjavanje poljoprivrednih površina. Ovim postupkom se značajno povećava potrošnja toplote na isparavanje, snižava temperatura Zemljine površine, povećava relativna vlažnost prizemnog sloja vazduha, menja bilans zračenja, smanjuje turbulentni prenos toplote i menjaju drugi klimatski uslovi. Razvoj urbanih sredina dovodi do značajnih klimatskih promena, koje se najviše ogledaju u promeni režima sledećih elemenata i drugih uslova urbane sredine, kao što su:

- smanjenje albeda Zemljine površine,
- smanjenje isparavanja sa Zemljine površine,
- porast temperature zbog veštačkog oslobođanja velikih količina toplote,
- smanjenje apsolutne i relativne vlažnosti,
- promena bilansa zračenja,
- porast antropogenog aerosola,
- smanjenje prozračnosti atmosfere,
- povećanje oblačnosti,
- povećanje magle i padavina,
- povećanje oticanja, itd.

Pomenuti uticaji čoveka na klimu imaju uglavnom lokalni karakter. Međutim, poslednjih decenija zapaženi su i oni uticaji koji imaju globalni karakter. Promena količine ugljen-dioksida u atmosferi je jedan od uticaja koji se posebno ističe. Povećanje potrošnje uglja, nafte i drugih materijala, koji predstavljaju izvore toplote, dovelo je do povećanja ugljen-dioksida u atmosferi.

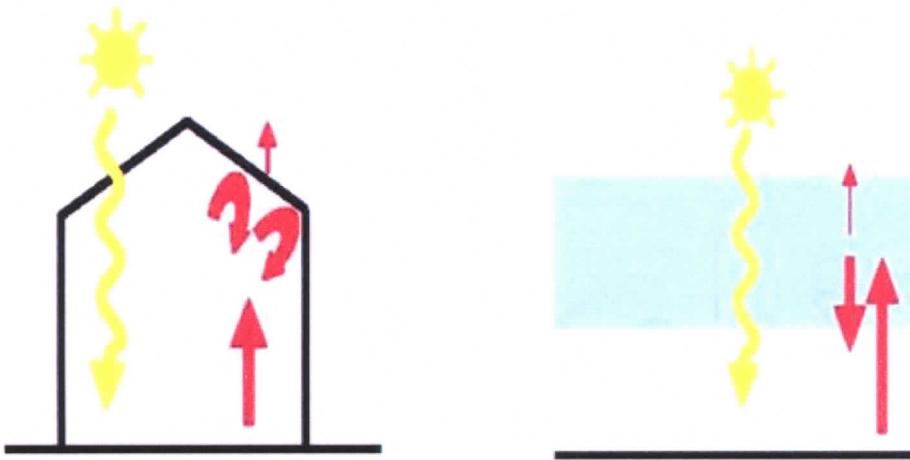
Vodena para, ugljen-dioksid, metan, oksidi azota, oblaci itd. apsorbuju Zemljino infracrveno zračenje i toplotnu energiju koju ono nosi, emituju na dole i u bezvazdušni prostor izračivajući neto dobit u energiji, tj. smanjujući gubitak toplotne energije na Zemljinoj površini. Takvo dugotalasno zračenje atmosfere prema Zemlji naziva se **protivzračenje atmosfere**. Talasne dužine ovog zračenja su između 8 i 13  $\mu\text{m}$ . Ova osobina atmosfere da slično staklu propušta u znatnoj meri Sunčevu zrečenje, zove se **efekat staklene baštne** koji je prikazan na slici 1.



Slika 1

#### Efekat staklene baštne

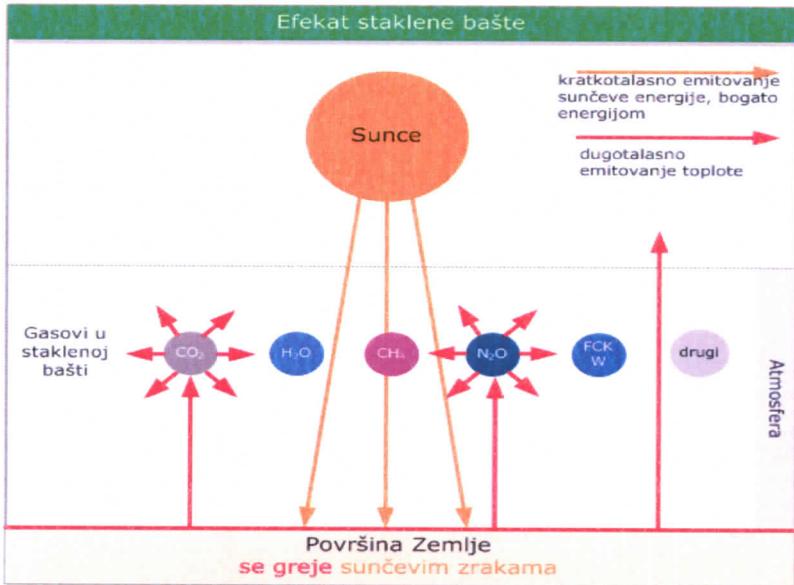
Ovaj termin nije baš sasvim pravilno izabran jer je u staklenoj bašti temperatura vazduha povećana prvenstveno zbog mehaničkog sprečavanja zagrejanog vazduha da izade, a ne zbog emisivnosti stakla koja je beznačajna (slika 2).



Slika 2

Mehanizam u staklenoj bašti (levo) i mehanizam u atmosferi (desno)

Takođe je interesantno napomenuti da se izraz *efekat staklene bašte* zasniva na konceptu konvencionalne staklene bašte u kojoj staklo ima veoma sličnu ulogu kao gasovi u našem opisu. Staklo, koje lako prenosi sunčevu energiju kratkih talasa u staklenu baštu, apsorbuje skoro svu energiju dužih talasa koju emituje unutrašnjost staklene bašte. Ovakvo zarobljavanje energije je delom odgovorno za povišenje temperature unutar staklene bašte, mada je ovaj efekat velikim delom prouzrokovani nedostatkom konvektivnog hlađenja u unutrašnjosti usled zatvorenosti. Povišena unutrašnja temperatura u automobilu kada je parkiran na suncu je još jedan ovakav primer.



Slika 3

Veći deo dugotalasnog zračenja emitovanog sa površine Zemlje apsorbuje atmosfera, dok jedan deo prolazi kroz atmosferski prozor. Atmosfera, za uzvrat, zrači energiju u svemir i nazad na Zemlju.

Zahvaljujući efektu staklene bašte, samo oko 9% energije dugotalasnog zračenja odlazi neapsorbovano u vavionski prostor. To se događa prvenstveno u opsegu od 10,5 do 12 $\mu\text{m}$  unutar tzv. *infracrvenog prozora*.

Hipoteza koja je poslednjih godina izazvala veliku pažnju kod medija, javnosti, političara i naučnih udruženja je, da usled povećane emisije antropogeno proizvedenih gasova staklene bašte dolazi do porasta prosečnih globalnih temperatura. U cilju da se procene promene klime zbog porasta koncentracije gasova staklene bašte, koriste se različiti klimatski modeli. Najjednostavniji su *modeli globalnog bilansa energije i jednodimenzionalni radijaciono konvektivni modeli*. Posebno mesto u modeliranju klime imaju **mehanizmi povratnih sprega** (feedback mechanisms). Ti mehanizmi se sastoje u tome da klimatske promene izazvane procesima u jednoj komponenti klimatskog sistema deluju i na druge komponente tog sistema, a ta međusobna dejstva se odražavaju na klimatske promene tako što ih podstiču ili prigušuju. Vremenske razmere ovih pojava kreću se u vrlo širokim granicama, od jedne do više hiljada godina. Povratnim spregama priroda teži da svaki poremećaj neutrališe i uspostavi normalno stanje. Na taj način ona ne dozvoljava da se klima

jednosmerno menja u pravcu eksplozije klimatskog sistema koji bi funkcionisao po principu „lančane reakcije“.

Neke od važnijih povratnih sprega su:

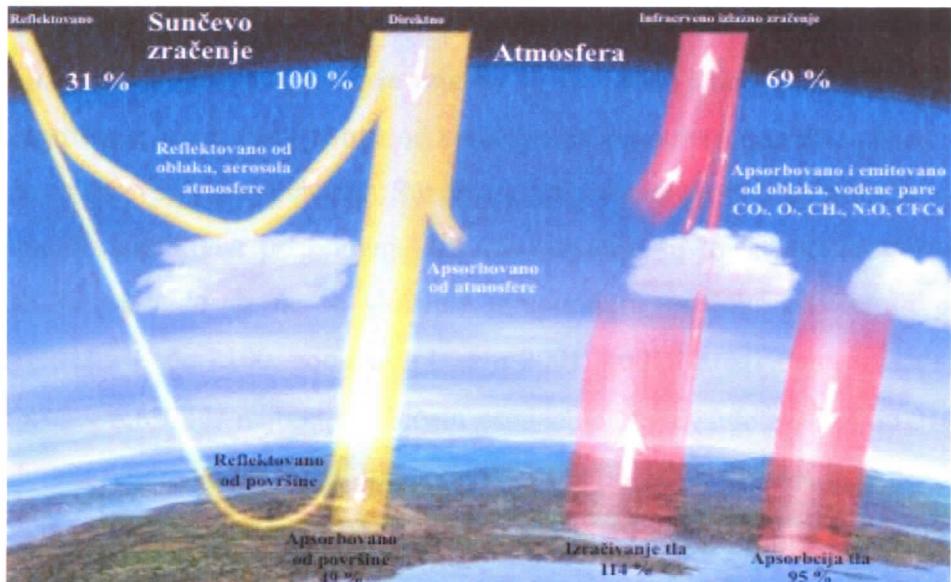
- povratna sprega zbog promene sadržaja vodene pare,
- povratna sprega zbog efekta površinskog albeda,
- povratna sprega zbog okeanske cirkulacije,
- povratna sprega zbog efekta oblaka,
- povratna sprega zbog efekta vegetacije.

Glavne nesigurnosti hipoteze koja govori da je usled povećane emisije antropogeno proizvedenih gasova staklene baštne dolazi do porasta prosečnih globalnih temperatura su povezane sa promenljivim procesima povratnih sprega od kojih neki broj ili usporava početak globalnog zagrevanja ili ga slabi do te mere da se ne može razlikovati od prirodnih promena klime.

U ovim diplomskom radu ćemo prikazati osnovne koncepcije teorije gasova staklene baštne, ciklus ugljenika, forsiranje aerosolima i predstaviti MAGICC program za procenu klimatskih promena izazvanih efektom staklene baštne i pomoću njega analizirati uticaj promene emisije CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta, efekta klimatske povratne sprege u ugljenikovom ciklusu i promene forsiranja aerosolima na promenu srednje temperature.

## 1.2. Osnovni pojmovi i koncentracije gasova staklene baštne

Život na planeti Zemlji je moguć zbog postajanja prirodnog efekta staklene baštne. Prirodna pojava gasova staklene baštne, pre svega vodene pare (H<sub>2</sub>O), ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), i gasova kao što su metan (CH<sub>4</sub>), azot-suboksid (N<sub>2</sub>O) i troposferski ozon (O<sub>3</sub>), omogućava sunčevoj energiji da prodre do Zemlje i da padne na nju kao svetlost, ali se potom u obliku infracrvenog zračenja vraća u atmosferu i zagревa je. Ovaj fenomen održava planetu dovoljno zagrejanom, što osigurava normalno odvijanje fizioloških funkcija svih živih organizama. Odsustvo gasova staklene baštne snizilo bi temperaturu naše planete za otprilike 33°C pretvarajući Zemlju u još jednu bezživotnu planetu Sunčevog sistema.



Slika 4

*Globalni energetski tok između svemira, atmosfere i Zemljine površine. Jedinica je W/m<sup>2</sup>.*

*Vrednosti su preuzete iz IPCC, 1996, Kiehl and Trenberth.*

Smatra se da je Fourier (1827) prvi predložio osnovni koncept gasova staklene bašte. Nešto kasnije je Arrhenius (1896) izračunao kako promene koncentracije ugljen-dioksida utiču na površinske temperature. Takođe je u svoje proračune uključio i osobinu vodene pare da apsorbuje dugotalsno zračenje. On je procenio da bi povećanje ugljen-dioksida za 2,5 do 3 puta povećalo temperaturu vazduha za 8°C do 9 °C u regionu Arktika. Njegova namera je bila da ispita kako promena koncentracije gasova staklene bašte utiče na pojavu ledenih doba i glacijaciju. On je takođe nagovestio da bi se preteranim spaljivanjem fosilnog goriva udvostručila koncentracija atmosferskog CO<sub>2</sub>, a globalna temperetura bi se mogla povećati za 5,5°C. Ovo nije daleko od 1,5°C do 4,5°C povećanja koje dobijamo kompjuterskim simulacijama, za udvostručenu količinu atmosferskog CO<sub>2</sub>.

Tek Callender (1938) vrši značajnija ispitivanja mogućeg uticaja veštački emitovanog ugljen-dioksida na globalne temperature.

1995. godine svetska naučna zajednica izveštava da su promene već u toku i da se Zemlja zagrejala za 0,5 °C u toku prošlog veka. U januaru 2001. godine IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change – Međuvladin panel za promenu klime – telo koje su formirale Ujedinjene nacije za ocenjivanje naučnih, tehničkih i socio-ekonomskih aspekata vezanih za razumevanje naučnih osnova rizika antropogenenih promena klime,

*(potencijalnih uticaja tih promena i opcija ublažavanja klimatskih promena i adaptacije na izmenjene klimatske uslove)* zvanično je izjavio da je ljudski uticaj glavni faktor današnjeg globalnog zagrevanja. Ova izjava je bila od velikog značaja pošto su se do tada čuli glasovi da su globalno zagrevanje pripisivali Sunčevim aktivnostima, i prirodnim klimatskim fluktuacijama. Kvantitativna predviđanja buduće situacije su još uvek nesigurna. U 1995. godini IPCC je procenio da će se globalna temperatura vazduha na Zemlji povećati za odprilike  $1^{\circ}\text{C}$  -  $3,5^{\circ}\text{C}$  do 2100. godine, dok se u 2001. godini predviđeni porast temperature popeo na  $1,4^{\circ}\text{C}$  –  $5,8^{\circ}\text{C}$ . U najboljem slučaju osetićemo zagrevanje za  $2^{\circ}\text{C}$  do 2100. godine, što bi trebalo biti najbrže menjanje klime koje se ikada dogodilo u poslednjih 10 000 godina, u periodu u kom se razvila moderna civilizacija.

Zagrevanje ovih razmara utiče na mnoge aspekte naših života, kao što su promene temperature i promene raspodele padavina, prouzrokuje porast nivoa mora i promene u raspodeli snabdevanja vodom za piće. Uticaj na naše zdravlje, vitalnost šuma i drugih prirodnih oblasti, kao i poljoprivrednu proizvodnju su veoma značajni.

Toplja planeta Zemlja ubrzava globalni ciklus vode, izmenu vode između okeana, atmosfere i tla. Viša temperatura prouzrokuje veće isparavanje, te će doći do bržeg isušivanja tla. Više vode u atmosferi, ukupno uvezvi, znači više kiše ili snega. Takvi događaji mogu prouzrokovati poplave, eroziju tla i druge nevolje. U nekim drugim oblastima, povećanje isparavanja dovodi do suše, dok će u drugim oblastima padati prekomerne količine kiše.

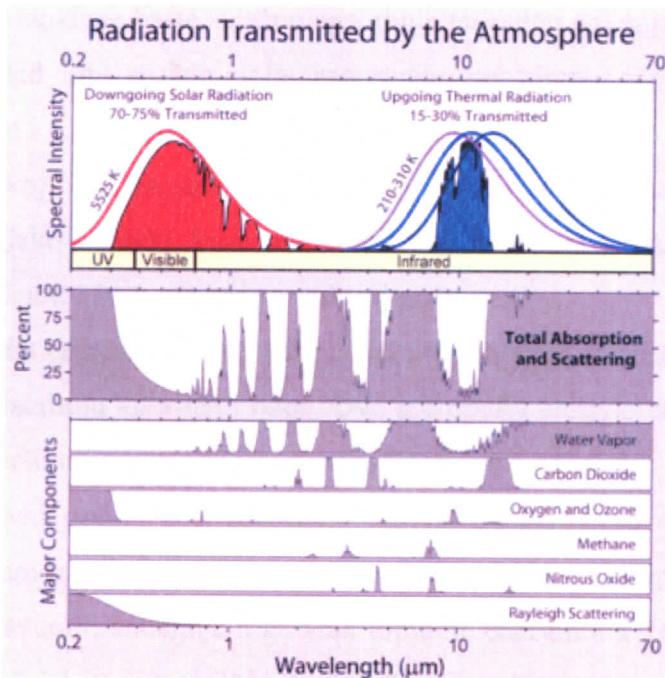
### 1.2.1. Efekat staklene bašte

Temperatura Zemljine površine je za  $33^{\circ}\text{C}$  viša nego što je očekivano. Da bi razumeli razloge za ovu višu temperaturu, pomoćiće nam *Wienov zakon*, koji daje talasnu dužinu na kojoj spektar crnog tela ima maksimalnu vrednost u funkciji apsolutne temperature:

$$\lambda_{\max} (\mu m) = \frac{2898}{T(K)}$$

Sunce možemo predstaviti kao crno telo temperature 5800 K, tako da njegov spektar ima maksimalnu vrednost na  $0,5 \mu\text{m}$ . Na slici 5. prikazan je infracrveni (IR) i kratkotalasni

deo spektra. Površina pod ovim krivama, između bilo koje dve talasne dužine, predstavlja ukupnu energiju u nekom opsegu frekvencija. Na primer, površina ispod krive ulazne solarne radijacije na vrhu atmosfere predstavlja gustinu fluksa, tj. solarnu konstantu koja ima vrednost  $1370 \text{ W/m}^2$ . Skoro sva ulazna solarna energija ima talasnu dužinu manju od  $3 \mu\text{m}$ , dok izlazna energija koju izrači Zemlja ima praktično svu svoju energiju talasne dužine veće od  $3 \mu\text{m}$ . Infracrveni deo spektra započinje sa  $0,7 \mu\text{m}$  i kreće se do  $100 \mu\text{m}$ .



*Slika 5*

*Apsorpcija kao funkcija talasne dužine za vodenu paru ( $H_2O$ ), ugljen-dioksid( $CO_2$ ), metan ( $CH_4$ ), kiseonik i ozon ( $O_2$ ,  $O_3$ ), azot-suboksid ( $N_2O$ ) i ukupna apsorpcija u atmosferi, ovde prikazana kao spektar dolazećeg Sunčevog zračenja i izračena toplotna energija sa Zemljine površine na  $288 \text{ K}$ .*

Kada zračenje energije prolazi kroz atmosferu, na njega utiču različiti gasovi i aerosoli iz vazduha. Ovi atmosferski konstituenti mogu da propuste izračenu energiju, mogu da raseju energiju putem refleksije ili da apsorbuju energiju. Kako atomi u gasnim molekulama vibriraju i međusobno se približavaju ili udaljavaju (vibraciona energija), ili kako rotiraju jedni oko drugih (rotaciona energija), oni apsorbuju ili emituju energiju na određenim

talasnim dužinama. Kada je frekvencija ovih molekularnih kretanja približna frekvenciji energije koja na njih pada, onda molekul može da apsorbuje tu energiju.

Slika 5. prikazuje apsorpcione spektre za glavne gasove staklene bašte, kao i njihov uticaj na ulaznu Sunčevu energiju i izlazno infracrveno zračenje koja emituje Zemljina površina. Veći deo energije dugih talasa koje emituje Zemlja apsorbuje kombinacija radijativno aktivnih gasova, od kojih su najznačajniji vodena para ( $H_2O$ ), ugljen-dioksid ( $CO_2$ ), metan ( $CH_4$ ), azotni oksid ( $N_2O$ ), molekularni kiseonik ( $O_2$ ), i ozon ( $O_3$ ). Vodena para, koja je najvažniji gas staklene bašte, snažno apsorbuje termalnu energiju talasne dužine preko  $18 \mu m$ . Ugljen-dioksid ima snažno polje apsorpcije, centrirano oko  $15 \mu m$ , kao i polja centrirana oko  $2,7 \mu m$  i  $4,3 \mu m$ . Između  $7 \mu m$  i  $12 \mu m$  postoji relativno bistro nebo za izlaznu termalnu radijaciju, koje nazivamo *atmosferski radijativni prozor*. Radijacija u navedenim talasnim dužinama lako prolazi kroz atmosferu, sa izuzetkom malog, ali bitnog polja apsorpcije između  $9,5 \mu m$  i  $10,6 \mu m$  koje se odnosi na ozon ( $O_3$ ).

Na slici 5. treba primetiti da svu ulaznu sunčevu energiju talasne dužine manje od  $0,3 \mu m$  (ultravioletno) apsorbuju kiseonik i ozon. Ova apsorpcija ultravioletnih zraka dešava se u stratosferi, štiteći površinu Zemlje od štetnog ultravioletnog zračenja.

Radijativno aktivni gasovi koji apsorbuju talasne dužine iznad  $4 \mu m$  zovu se gasovi staklene bašte. Ova apsorpcija zagreva atmosferu, koja, zauzvrat, povratno emituje energiju nazad na Zemlju i u svemir, smanjujući gubitak toplotne energije na Zemljinoj površini. Ovi gasovi staklene bašte deluju kao pokrivač oko Zemljine kugle, povećavajući temperaturu Zemljine površine iznad efektivne temperature. Značaj vodene pare kao gasa staklene bašte je potpuno očit za vreme bistrih noći, kada se Zemlja hlađi mnogo brže nego tokom oblačnih noći.

Kada na Zemlji ne bi postojao efekat staklene bašte, temperatura Zemlje bi bila  $254 K$ . To jest, planeta bi imala prosečnu temperaturu od  $-19 ^\circ C$ . Zapravo, jedan način da kvantifikujemo efekat staklene bašte jeste da uporedimo efektivnu temperaturu  $T_e$  sa stvarnom temperaturom Zemljine površine  $T_s$ .

$$\text{Veličina efekta staklene bašte} = T_s - T_e$$

Dakle, pošto je stvarna temperatura Zemlje  $288 K$ , a njena efektivna temperatura je  $254 K$ , možemo da kažemo da efekat staklene bašte dodaje  $34 ^\circ C$  zagrevanju Zemljine površine.

Kada bi nestao sav ugljen-dioksid iz atmosfere, Sunčev zračenje bi se uglavnom odbijalo od površine planete, a Zemlja bi bila hladnija za oko  $400^\circ C$ . Kada uopšte ne bi bilo efekta staklene bašte, Zemlja bi bila zaledeni kamen u svemiru, sa temperaturom od  $-730^\circ C$ ,

dok bi u slučaju intenzivnog efekta staklene bašte Zemlja ličila na Veneru, s prosečnom temperaturom od paklenih  $5000^{\circ}\text{C}$ .

### 1.2.2. Vodena para

Vodena para predstavlja jednu od veoma važnih komponenti atmosfere. Ona apsorbuje Zemljino izračivanje povišavajući temperaturu nižih slojeva atmosfere. Kondenzacijom vodene pare dolazi do obrazovanja oblaka i padavina. Procesi kondenzacije i isparavanja su praćeni oslobođanjem ili, apsorbovanjem velikih količina toplote što se vidno odražava na energetski bilans atmosfere.

Molekul vode je građen u obliku jednkokrakog trougla sa uglom od  $105^{\circ}$  u vrhu gde je smešten atom kiseonika. Dužina njegovih bočnih strana je  $0,096\text{ nm}$ , dok osnova ima dužinu od  $0,154\text{ nm}$ . Molekul vode se pod uticajem ultraljubičastog (UV) zračenja talasne dužine manje od  $0,165\text{ nm}$  ili rengenskog zračenja razlaže na vodonik ( $\text{H}$ ), hidroksilnu grupu ( $\text{OH}$ ) i perohidroksil ( $\text{HO}_2$ ).

Vodena para je takođe i najefikasniji apsorber dugotalasnog zračenja. Ona apsorbuje toplotno infracrveno zračenje u intervalu oko  $6,3\text{ }\mu\text{m}$ . Na primer, od  $10^{\circ}$  do  $20^{\circ}$  geografske širine  $\text{H}_2\text{O}$  apsorbuje 70%, a  $\text{CO}_2$  18% zračenja; na umerenim širinama  $\text{H}_2\text{O}$  apsorbuje 45-65%, a  $\text{CO}_2$  18%; u polarnim predelima  $\text{H}_2\text{O}$  apsorbuje 30%, a  $\text{CO}_2$  18%. S obzirom na ovako veliki procenat apsorbovanog Zemljinog zračenja, naročito na malim širinama, hlađenje Zemljine površine se usporava protivzračenjem atmosfere. Njen koncentracija varira u prostoru i vremenu, a uzrok tome leži u osobini vode da se u prirodnim uslovima, za razliku od ostalih sastojaka atmosfere, može javiti u sva tri agregatna stanja: gasovitom, tečnom, i čvrstom. Usled toga bi mogla da se smatra pridodatkom atmosfere. To bi bilo opravdano kada se ne bi uzela u obzir činjenica, da je makar i u najmanjoj količini ima uvek u nižim slojevima atmosfere. Njen ideo u  $1\text{m}^3$  vazduha varira skoro 0-4% i utiče na procentualni ideo drugih sastojaka atmosfere. Ukoliko je ima više, srazmerno se smanjuje prisustvo ostalih sastojaka u vazduhu. Količina vodene pare u vazduhu menja se od ekvatora prema polovima u istom odnosu kao i temperatura. To znači da se količina vodene pare u jedinici zapremine vazduha smanjuje sa povećanjem geografske širine. Ona se naglo smanjuje i sa povećanjem visine, tako da je u stratosferi (iznad 10-16 km) uopšte nema.

## *Proces kruženja vode u prirodi*

Život na Zemlji ne bi postojao bez vode. Živi organizmi se većinom sastoje od vode. Voda im je potrebna za odvijanje životnih procesa, a neki organizmi i žive u vodi. Kada vodu zagreva Sunce, ona isparava iz okeana, reka, jezera i potoka i kondenzujući se u atmosferi stvara oblake. Oblaci zatim vraćaju vodu na zemlju u vidu kiše, snega ili grada. Ova voda se sliva u potoke, reke, jezera da bi konačno došla do okeana. Voda takođe prodire i u zemlju, ispunjavajući šupljine u Zemljinoj kori gde sa zadržava formirajući kladence, podzemna jezera i reke ponornice. Tako se voda neprestano reciklira krećući se sa Zemlje u atmosferu i natrag.



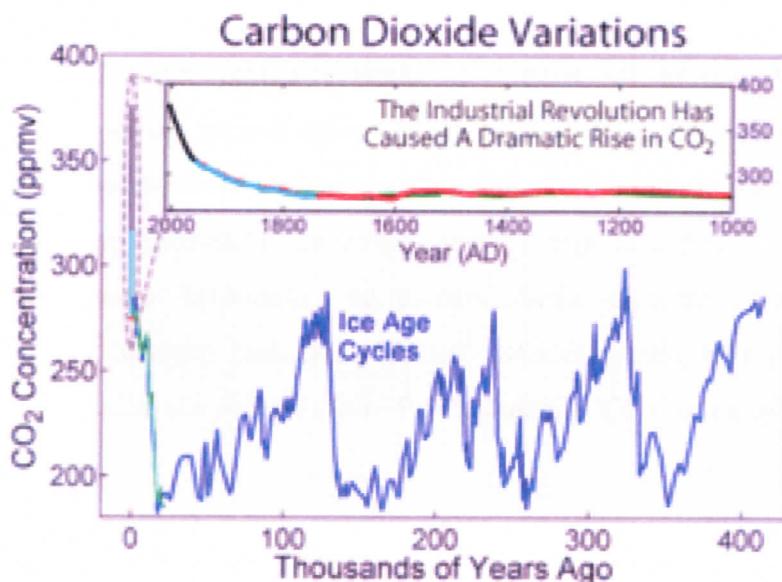
*Slika 6*

*Ciklus vode*

### 1.2.3. Ugljen-dioksid ( $\text{CO}_2$ )

Ugljen-dioksid ( $\text{CO}_2$ ) je drugi veoma važan gas staklene bašte. To je gasovito jedinjenje koje je prisutno uglavnom svuda ali mu je količina veoma promenljiva. Ugljen-dioksid apsorbuje Zemljino infracrveno zračenje u traci od  $15 \mu\text{m}$ . Na taj način, kao radijaciono aktivan gas, veoma utiče na toplotne uslove Zemljine površine i prizemnog sloja vazduha. U diskusijama o efektu staklene bašte ovom gasu je uvek pridavana najveća pažnja jer on zaista predstavlja oko dve trećine trenutno postojećeg radijativnog forsinga.

Jedna indirektna procena bi mogla da se napravi ispitivanjem koncentracije  $\text{CO}_2$  i drugih gasova koji su zarobljeni u vazdušnim mehurima zaleđenog snega. Procene ovih koncentracija u predindustrijskom periodu dobijene tehnikom analize mehura vazduha, kreću se od 265 do 290 ppm (milioniti deo zapreme). Koncentracije u 1958. godini su oko 315 ppm ili 10-20% više. Mali deo tog porasta mogao bi se pripisati krčenju šuma i prirodnim promenama, dok je njegov veći deo posledica sagorevanja karbonatnih goriva (ugalj, benzin, nafta). Podaci koji ukazuju na značajne promene  $\text{CO}_2$  predstavljeni su na slici 7.



Slika 7

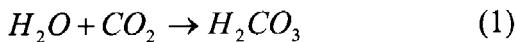
Promena koncentracije  $\text{CO}_2$  u ppm za poslednjih 400.000 godina

Prva kontinuirana, precizna i direktna merenja atmosferskog ugljen-dioksida počela su 1957. na Južnom polu, i 1958. u Mauna Loa, na Havajima u to vreme je akumulacija iznosila oko 315 ppm, i rasla je po stopi od manje od 1 ppm godišnje. Do 1994, to je poraslo na 358 ppm i raste po stopi od 1,6 ppm godišnje. Od 1995-2005. godine koncentracija CO<sub>2</sub> raste za 19 ppm što je najveći prosečni porast zabeležen od kada su započela direktna merenja CO<sub>2</sub>. Antropogena emisija ugljen-dioksida locirana je prvenstveno na severnoj hemisferi, ali vazduh severne i vazduh južne hemisfere se dovoljno mešaju tako da su koncentracije CO<sub>2</sub> tek nekoliko milionitih delova više u Mauna Loa nego na Južnom polu.

CO<sub>2</sub> ima značajnu ulogu u procesu fotosinteze i formiranju karbonata. U reakciji *fotosinteze*:  $H_2O + CO_2 \rightarrow \{CH_2O\} + O_2$ , na svaki molekul kiseonika jedan atom ugljenika bude ugrađen u živu materiju, koja proizvodi svoju građu formirajući ugljene hidrate monomerom CH<sub>2</sub>O. Međutim većina C-atoma se oksiduje obrnutom reakcijom, prilikom truljenja organskih materijala i pri disanju, pa je neophodno da fotosinteza bude češća od obrnute reakcije. To je i omogućeno fosilizovanjem nekih ugljenikovih atoma. Tako na svakih nekoliko desetina hiljada molekula ugljenika koji podležu procesu fotošinteze, jedan molekul izbegne proces oksidacije i podleže fosilizaciji. Najveći deo neoksidisanog ugljenika se ugrađuje u sadržaj škriljaca dok se manji deo, u znatno koncentrovanoj formi skuplja u fosilnim gorivima (ugalj, nafta i prirodan gas).

Sagorevanjem fosilnih goriva prekida se proces fotosinteze. Gledano iz ugla današnjice, civilizacija potroši sagorevanjem tokom jedne godine onoliko kiseonika koliko se procesom fotosinteze proizvede za sto godina. Ova činjenica je manje alarmantna ukoliko se ima u vidu da mehanizam fotosinteze funkcioniše već sto miliona godina.

*Proces obrazovanja karbonata* se takođe odvija učešćem živog sveta Zemlje: karbonati se formiraju jonskim reakcijama unutar izvesnih morskih organizama. Najveći doprinos tu imaju jednoćelijske *foraminifere*. Pri razlaganju CO<sub>2</sub> obrazuje se slaba ugljena kiselina:

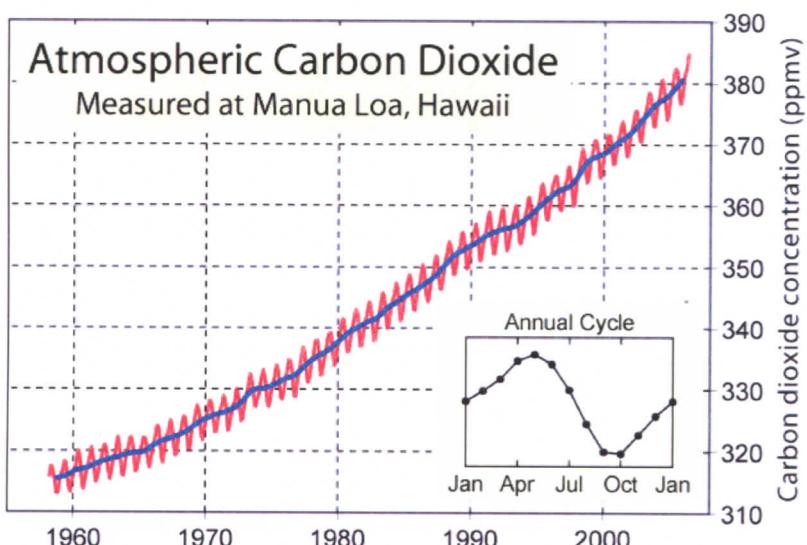


i time započinje niz reakcija koje vode do:



Kalcijum-karbonat ulazi u sastav ljuštura morskih životinja koje se talože na dnu i formiraju krečnjačke stene. Jon vodonika koji se oslobodi u reakciji (2) reaguje sa oksidima metala u Zemljinoj kori uzimajući jedan atom kiseonika i gradeći vodu. Ono što se jasno izdvaja jeste činjenica da se iz atmosfere prilikom obrazovanja karbonata, kiseonik troši da bi se potom u nju vratio prilikom razlaganja karbonata.

Koncentracije ugljen-dioksida u atmosferi koje dolaze sa ledenih prostora Antarktika tokom poslednjih 1000 godina, u kombinaciji sa novijim merenjima u Mauna Loa, prikazani su na slici 8.



Slika 8

Koncentracija  $CO_2$  u proteklih 1000 godina određena iz uzorka leda sa Antarktika i Mauna Loa. (Izvor: IPCC, 2001. godina)

U predindustrijskom periodu koncentracije se kreću blizu 280 ppm, a to je vrednost koja se obično koristi kao referentna tačka za poređenje sa sadašnjim stanjem i budućim predviđanjima. Koncentracija ugljen-dioksida je trenutno skoro 30 % viša nego što su bile neposredno pre industrijske revolucije.

### **Koeficijent emisije ugljen-dioksida**

Ne doprinose sva goriva u istoj meri emisiji ugljen-dioksida. S obzirom na različit hemijski sastav, različite su i emisije nastale kao posledica sagorevanja različitih goriva, za ostvareni isti toplotni efekat. Da bi se različita goriva mogla međusobno porebiti, uvodi se koeficijent emisije ugljen-dioksida  $K_{CO_2}$ , koji predstavlja masu emitovanog ugljen-dioksida u atmosferu svedenu na jedinicu energije.

Koeficijent emisije ugljen-dioksida određuje se na sledeći način:

$$K_{CO_2} = 3,67 \frac{g_c}{H}$$

gde su:

- 3,67 stehiometrijski koeficijent
- $g_c$  maseni udeo gorivnog ugljenika u gorivu
- H toplotna moć goriva (MJ/kg)

U tabeli 1. prikazani su koeficijenti emisije ugljen-dioksida različitih goriva.

Gorivo	Emisija, kgCO <sub>2</sub> / GJ
Biomasa	109,6
Treset	106,0
Kameni ugalj	101,2
Mrki ugalj	97,09
Lignit	96,43
Dizel	77,4
Sirova nafta	74,1
Kerozin	73,3
Benzin	71,5
Tečni naftni gas	63,1
Prerodni gas	56,1

*Tabela 1*

*Koeficijent emisije ugljen-dioksida različitih gasova*

Biomasa spada u obnovljive izvore energije i kao takva se smatra za CO<sub>2</sub> neutralna. Pri sagorevanju biomase emituje se tačno onoliko ugljen-dioksida koliko biljka veže procesom fotosinteze u toku rasta, pa je u tom smislu koeficijent biomase ugljen-dioksida jednak nuli. Međutim taj podatak je validan samo onda kada seču prati pošumljavanje, u suprotnom usvaja se koeficijent emisije koji je prikazan u tabeli 1.

Kao najpovoljnije gorivo u smislu ekološke pogodnosti nameće se prirodni gas koji ima najmanji koeficijent emisije ugljen-dioksida za isti ostvareni topotni efekat. Razlog tome je sastav prirodnog gasa kod koga je ubedljivo najviše zastupljen metan, a zatim i ostali niži ugljovodonici. Sastav gasa je takav da ima najmanje učešće ugljenika u odnosu na ostala fosilna goriva (g<sub>c</sub>), zbog čega se sagorevanjem pored ugljen-dioksida emituje i značajna koločina vodene pare.

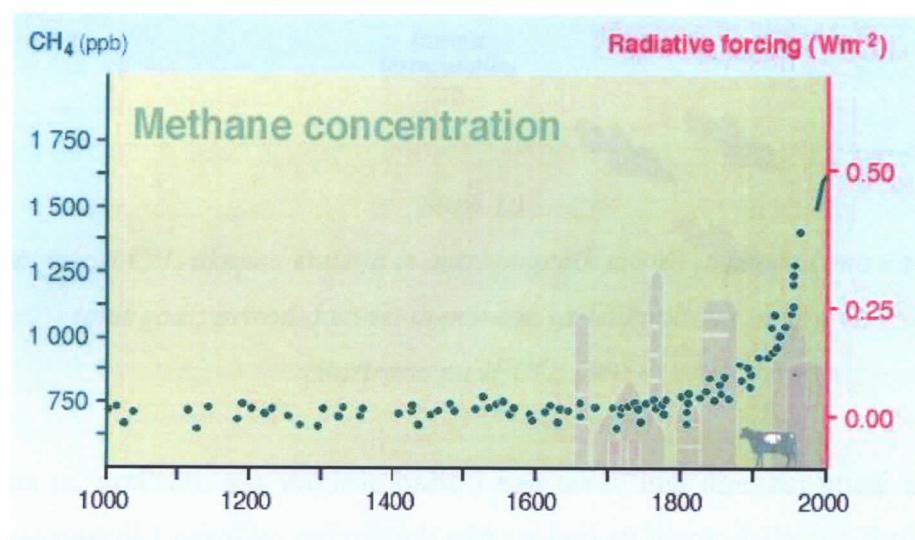
#### 1.2.4. Metan ( CH<sub>4</sub> )

Akumulacija energije metanom u atmosferi predstavlja 0,47 W/m<sup>2</sup> radijativnog forsinga<sup>1</sup>, što je 19% ukupnog forsiranja preko gasova staklene bašte. Metan ima talasnu dužinu apsorpcije centriranu na 7,7 μm, na ivici atmosferskog prozora. Kako je prikazano na slici 9., koncentracije metana u atmosferi stotinama godina su se kretale oko 700 milijarditih delova (ppb) sve dok nisu rapidno počele da rastu tokom 1800.godina. Godine 1992. te koncentracije su dostigle 1714 ppb, što je porast od oko 250 % u odnosu na predindustrijsko vreme. 2005. godine merenja na 40 mernih mesta pokazuju srednju vrednost od 1774,62 ± 1,22 ppb.

Metan je još jedan gas koji se prirodno javlja, a čija koncentracija raste usled ljudskih aktivnosti. Proizvodi se bakterijskom fermentacijom u anaerobnim uslovima, na primer u močvarama, pirinčanim poljima, deponijama otpada, i u digestivnom traktu preživara. Metan se takođe oslobađa tokom proizvodnje, transporta i korišćenja fosilnih goriva. Iz prirodnih izvora metana, uključujući vlažna mesta, eroziju zemljišta, i okeane, oslobađa se oko 168 miliona tona godišnje u periodu 1996-2001. godine dok antropogeni izvori u istom periodu oslobađaju oko 428 miliona tona (Chen and Prinn, 2006). Skoro polovina antropogene emisije

<sup>1</sup> Kao mera poremećaja energetskog bilansa atmosfere Zemlje koristi se tzv. radijativni forsing, koji predstavlja razliku između prispevog kratkotalasnog sunčevog zračenja i dugotalsnog zračenja emitovanog u kosmos. Izražava se u W/m<sup>2</sup>.

otpada na proizvodnju hrane za ljudsku upotrebu (slika 10). Živa stoka, uglavnom goveda, ovce, i bufalo, proizvode oko 80 miliona tona metana godišnje, pirinčana polja oko 60 miliona, raščišćavanje i sagorevanje biomase radi pripreme terena za ispašu i setvu su izvor sledećih 40 miliona. Više od  $\frac{1}{4}$  antropogene emisije, ili oko 100 tona godišnje, povezano je sa fosilnim gorivima. Kako proizvodnja hrane i energije raste da bi se zadovoljile potrebe sve većeg broja stanovnika, emisija metana će nastaviti da predstavlja značajan elemenat radijativnog forsinga.

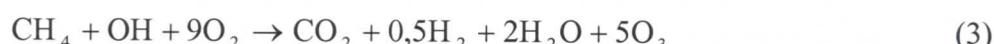


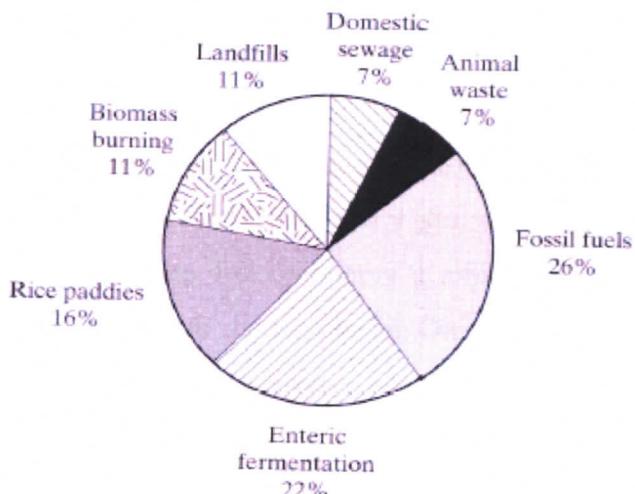
Slika 9

Koncentracija  $CH_4$  određena iz uzorka leda uzetog na Antartiku u kombinaciji sa skorašnjim merenjima. Radijativni forsing je takođe prikazan.

(Izvor: IPCC, 2001)

Metan se uklanja iz atmosfere prvenstveno preko reakcija sa hidroksilnim radikalima (OH):





*Slika 10*

*.Antropogeni izvori CH<sub>4</sub> ukupna emisija iz antropogenih izvora je procenjena na 375 miliona tona/god.; prirodni izvori doprinose sa 160 miliona tona/god.*

*(Bazirano na IPCC, 1995)*

Metan je, svakako, gas staklene bašte i kao takav ima direktni uticaj na radijativni forsing. Uz to postoji i nekoliko indirektnih efekata koji su uzrok dodatnog forsiranja, što se vidi iz hemijske reakcije (3). Najpre, kada metan reaguje sa hidroksilom (OH), koncentracija OH opada. Uz gubitak raspoloživog OH, smanjuje se stopa uklanjanja CH<sub>4</sub> i time se produžava atmosferski rok trajanja preostalog metana. Uz duži vek trajanja CH<sub>4</sub> u atmosferi, on duže apsorbuje infracrvene zrake i time povećava potencijal globalnog zagrevanja. Sledeći indirektni uticaj na razgradnju organskih materija jeste da kada metan reaguje sa hidroksilom on proizvodi vodenu paru. Kada se dešava ova reakcija, dolazi do značajnog povećanja vodene pare, što je u atmosferi prilično značajno. I na kraju hemijska reakcija (3) implicira da uništavanje metana proizvodi porast ozona, koji je sam po sebi gas staklene bašte. Zbir svih ovih indirektnih efekata značajno povećavaju uticaj metana na radijativni forsing.

Globalno zagrevanje bi moglo da oslobodi velike količine metana koji je trenutno zamrznut u permafrostu na udaljenim severnim oblastima sveta, što bi omogućilo anaerobnu razgradnju materija koje su takođe zamrznute u permafrostu, što bi oslobodilo dodatne količine metana. Ovo je još jedan primer pozitivnog kruga povratne reakcije. Zagrevanje koje je prouzrokovalo povećane količine oslobođenih gasova iz staklene bašte moglo bi dodatno da pojača originalno zagrevanje.

## 1.2.5. Halougljenici

Halougljenici su molekuli na bazi ugljenika koji sadrže hlor, fluor ili brom. Veza ugljenik-fluor oscilira i zato apsorbuje talase oko  $9 \mu\text{m}$ , a druga veza koja se širi i savija u halougljenicima takođe se javlja sa frekvencijama u atmosferskom prozoru, tako da svi ti molekuli predstavljaju moćne gasove staklene bašte. Oni su važni sa ekološkog stanovišta ne samo zato što doprinose globalnom zagrevanju, nego i zato što atomi hlora i broma koji dospevaju u stratosferu imaju sposobnost da katalitički uništavaju ozon.

Podkategorije halougljenika uključuju hlorofluorougljenike (CFC) koji imaju samo ugljenik, fluor i hlor, ali nemaju vodonik; hidrohlorofluorougljenici (HCFC) koji su kao CFC ali sadrže i vodonik, HFC koji ne sadrže hlor; i *haloni*, koji su molekuli na bazi ugljenika a sadrže i brom uz hlor i nekada hlor. Ovi halougljenični gasovi razlikuju se od svih drugih aktivnih gasova utoliko što se ne javljaju prirodno i njihovo prisustvo u atmosferi uzrokovano je isključivo ljudskim delatnostima. Ostali važni halougljenici uključuju ugljenik tetrahlorid ( $\text{CCL}_4$ ), metil hloroform ( $\text{CH}_3\text{CCL}_3$ ), i metil bromid ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ).

Hlorofluorougljenici (CFC) su netoksični, nezapaljivi, nereaktivni i nisu rastvorljivi u vodi, što je u vreme kada su tek stvoreni prouzrokovalo verovanje da se radi o sasvim benignim hemikalijama. Ali pošto nisu reaktivni i pošto se ne rastvaraju u vodi, oni se ne uništavaju u hemijskim reakcijama i ne uklanjaju se iz troposfere putem kiše. To znači da imaju dug životni vek u atmosferi. Jedini poznati mehanizam uklanjanja je fotoliza preko kratkotrasne solarne radijacije, do čega dolazi nakon što molekuli pređu u stratosferu. Upravo hlor koji se u ovom procesu oslobađa uništava ozon u stratosferi. Slično tome, haloni, koji sadrže brom, nemaju nikakva mesta sakupljanja u troposferi i jedini mehanizam njihovog uklanjanja je fotohemijska razgradnja u stratosferi, kojom se oslobađa brom koji uništava ozon.

Hidrohlorofluorougljenici (HCFC) se uvode kao zamena za CFC. Dodavanjem vodonika u ove molekule, oni više nisu hemijski inertni, što znači hemijske reakcije mogu da ih uništavaju u troposferi pre nego što imaju priliku da pređu u stratosferu. Dakle, njihov je atmosferski životni vek znatno kraći. HCFC su samo privremene zamene za CFC, međutim, obzirom da one i dalje imaju određeni potencijal da troše ozonski sloj oni i dalje predstavljaju potentne gasove staklene bašte.

HFC uopšte ne sadrže hlor, tako da su povoljniji od HCFC u smislu zaštite stratosferskog ozona. Hidrofluorougljenik  $\text{CH}_2\text{FCF}_3$  u poslednje vreme ubrzano postaje najbolje rashladno sredstvo za korišćenje u automobilskim rashladnim uređajima, uređajima za klimatizaciju i u frižiderskim uređajima. Međutim, čak i ova hemijska reakcija ima stabilan atmosferski životni vek (14,6 godina) što doprinosi njenom značajnom potencijalu u globalnom zagrevanju.

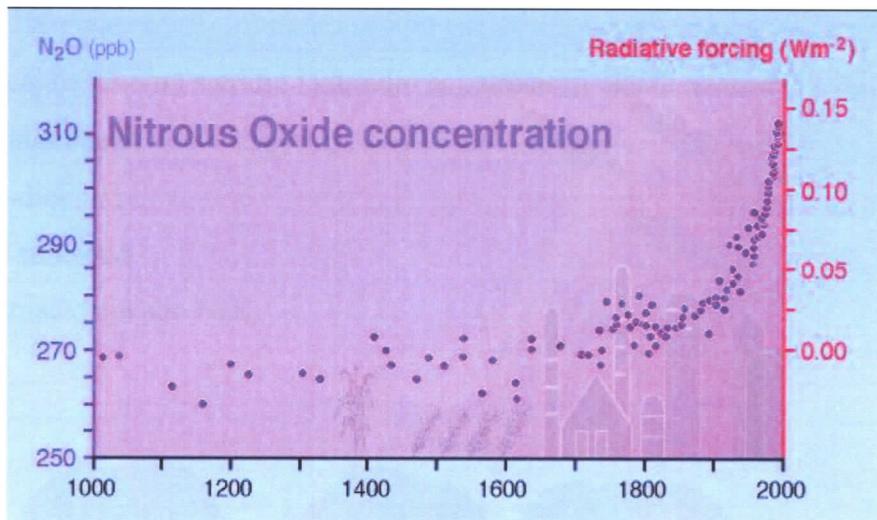
### 1.2.6. Azotni oksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ )

Azotni oksid (“smešni gas”) je takođe gas staklene bašte čije koncentracije rastu kao posledica ljudskih aktivnosti. Trenutne atmosferske koncentracije su oko 312 ppb, što je porast od 13% u odnosu na predindustrijske koncentracije koje su bile oko 275 ppb. Trenutna stopa porasta azotnog oksida je procenjena na 0,6 ppb, odnosno na 0,2% godišnje. U 2005. godini koncentracije su bile oko  $319 \pm 0,12$  ppb. Slika 11. pokazuje koncentracije u poslednjih hiljadu godina i s tim povezani radijativni forsing. Pri stopi od  $0,14 \text{ W/m}^2$  ovaj gas predstavlja 6% ukupnog radijativnog forsinga u industrijsko vreme.

Azotni oksid se ispušta u atmosferu najviše tokom nitrifikacionog dela azotnog ciklusa:



Procenjuje se da prirodni izvori  $\text{N}_2\text{O}$  daju 9 miliona tona azota godišnje u atmosferu, što većinom potiče od okeana i mokrog šumskog zemljišta. Antropogeni izvori predstavljaju oko 40% ukupne emisije  $\text{N}_2\text{O}$ , ili 5,7 miliona tona godišnje (IPCC, 2007). Skoro dve trećine antropogene emisije je rezultat poljoprivrednih aktivnosti. Novoraščišćeno šumsko zemljište pokriva se travnatim zemljištem i proizvodi značajne emisije  $\text{N}_2\text{O}$ , a dodatna emisija potiče i od azotnih đubriva. Ostali izvori obuhvataju trosmerne katalitičke konvertore na automobilima, sagorevanje goriva koja sadrže azot, i razne industrijski procese kao što je proizvodnja najlona.



*Slika 11*

*Porast koncentracije NO<sub>2</sub> koji prati porast radiacionog forsiranja (Izvor: IPCC, 2001.)*

Očito, ne postoje značajni prijemnici u troposferi za N<sub>2</sub>O i on se samo sporo razgrađuje u stratosferi putem fotosinteze. Zbog toga, ovaj gas ima dug životni vek u atmosferi, koji se procenjuje na 120 godina, što podrazumeva da će perturbacije u prirodnom ciklusu imati dugoročne posledice. Azotni oksid ima polje apsorpcije na 7,8 μm što je u vezi sa proširenjem ugla veze. Polje od 7,8 μm nalazi se na ramenu atmosferskog prozora a polje 8,6 μm je tačno na prozoru, tako da N<sub>2</sub>O predstavlja gas staklene bašte velikog potencijala.

### ***Emisija azotnih oksida***

Oksidi azota, koji se uobičajeno označavaju NO<sub>x</sub>, poslednjih godina dospeli su u centar pažnje, s obzirom da su identifikovani kao uzročnici mnogih neželjenih pojava. Njihovo štetno dejstvo se vezuje za:

- uticaj na zdravlje ljudi,
- smanjenje vidljivosti i stvaranje fotohemiskog smoga – posledica reakcija NO<sub>x</sub> sa organskim materijama u prisustvu sunčeve svetlosti,
- razaranje ozona u višim slojevima atmosfere,
- stvaranje štetnog ozona u nižim slojevima atmosfere,
- stvaranje kiselih kiša.

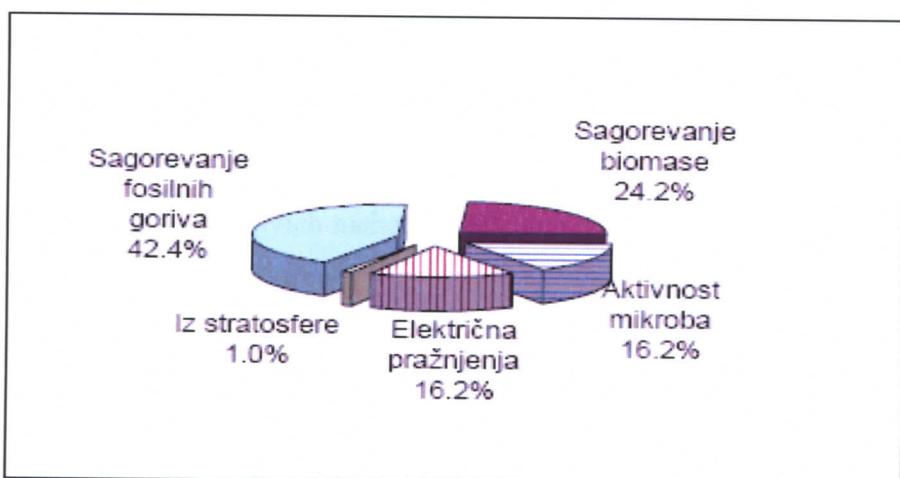
S obzirom na uticaj na životnu sredinu i zdravlje najznačajniji oksidi azota su:

- NO azot-monoksid,
- $\text{NO}_2$  azot-dioksid,
- $\text{N}_2\text{O}$  azot-suboksid

a zajednički se označavaju kao  $\text{NO}_x$ .



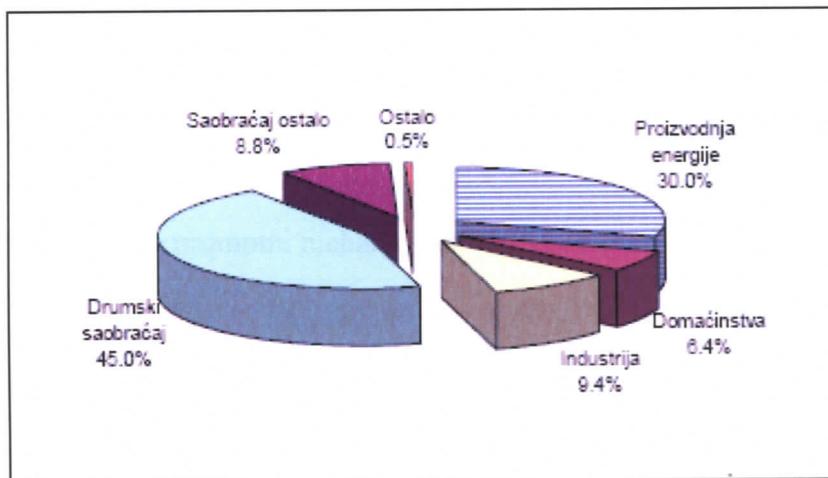
Preko 90 % oksida azota emitovanih usled procesa sagorevanja čini azot-monoksid NO, dok ostatak čini azot-dioksid  $\text{NO}_2$ . Međutim, kako se azot-monoksid NO u atmosferi konvertuje u azot-dioksid, većina propisa iz oblasti zaštite životne sredine tretira sve okside azota kao  $\text{NO}_2$ . Azot-suboksid  $\text{N}_2\text{O}$  je poznat kao gas staklene bašte, koji doprinosi globalnom zagrevanju, ali je takođe identifikovan kao činilac koji utiče na razaranje ozonskog omotača. Srećom, male količine azot-suboksida se emituju procesima sagorevanja.



*Slika 12*

*Struktura porekla  $\text{NO}_x$ .*

Podaci o izvoru emisije azotnih oksida pokazuju da je oko dve trećine emisije posledica sagorevanja (slika 12). Struktura azotnih oksida koji su posledica sagorevanja prikazani su na slici 13. Evidentno je da je saobraćaj i to posebno drumski, najveći pojedinačni izvor emisije  $\text{NO}_x$  (45%), dok je proizvodnja energije na drugom mestu sa 30% ukupne emisije.



*Slika 13  
Struktura  $\text{NO}_x$  nastalog kao posledica ljudskih aktivnosti.*

Oksidi azota koji se obrazuju tokom procesa sagorevanja nastaju oksidacijom:

- azota vezanog u gorivu,
- azota u vazduhu,

dok se njihovo stanje objašnjava pomoću tri osnovna mehanizma:

- termički ili Zeldovich mehanizam,
- promptni mehanizam,
- mehanizam oksidacije azota vezanog u gorivu.

Termički  $\text{NO}_x$  se formira zahvaljujući oksidaciji atmosferskog azota. Promptni  $\text{NO}_x$  se formira brzim reakcijama u frontu plamena, a  $\text{NO}_x$  iz goriva nastaje oksidacijom azota vezanog u gorivu.

Procena trenutnog stanja kao i projekcija stanja nakon supstitucije ostalih energetika prirodnim gasom, izvršena je korišćenjem podataka organizacije Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) koji su prikazani tabelom 2.

Posmatrano po energijama najveći doprinos emisiji NO<sub>x</sub> potiče od sagorevanja ogrevnog drveta, što se objašnjava hemijskim sastavom drvene biomase u čijem se sastavu nalazi azot, pa je mehanizam oksidacije azota iz goriva značajan emitent oksida azota. Takođe uzrok je i u načinu odvijanja procesa sagorevanja biomase.

Najmanji doprinos emisiji oksida azota daje prirodni gas koji u svom sastavu može da sadrži azot, kao balast, ali je obično reč o malom procentu. Takođe, treba naglasiti mogućnost dobrog mešanja gasovitog goriva sa vazduhom, što sprečava stvaranje „džepova“ bogate smeše, koja stimuliše promptni mehanizam.

Energent	Emisija g NO <sub>x</sub> /GJ.
<u>Ugalj</u>	
Široka potrošnja	1.5
Industrija	1.5
Toplana	1.5
<u>Mazut</u>	
Široka potrošnja	0.6
Industrija	0.6
Toplana	0.6
<u>Prirodni gas</u>	
Široka potrošnja	0.1
Industrija	0.1
Toplana	0.1
<u>Ogrevno drvo</u>	
Široka potrošnja	3.2
Industrija	3.2
Toplana	3.2

*Tabela 2*

*Koeficijenti emisije NO<sub>x</sub> po jedinici proizvedene energije*

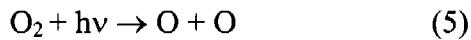
### 1.2.7. Ozon ( $O_3$ )

Ozon je štetna supstanca neprijatnog mirisa koja iritira oči i sluzave membrane respiratornog sistema izazivajući hronična oboljenja kao što su astma i bronhitis. Ozon takođe usporava rast drveća i šteti usevima.

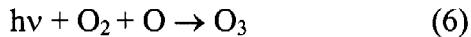
Prilikom razmatranja ozona važno je praviti oštru razliku između stratosferskog ozona koji nastaje prirodnim putem, sjedinjavanjem molekularnog i atomskog kiseonika, i prizemnog ozona koji nastaje kao sekundarni polutant koji se ne emituje direktno u atmosferu. Dok je stratosferski ozon krajnje korisna supstancija koja sačinjava zaštitni štit od ultraljubičastog zračenja, površinski ozon nastaje u seriji komplikovanih hemijskih reakcija koje uključuju druga jedinjenja kao što su oksidi azota u ugljovodonici.

Molekuli ozona se sastoje od tri atoma kiseonika, pa je prema tome on modifikovani kiseonik. Pošto je za formiranje ozona neophodna sunčeva svetlost, koncentracija ozona je najveća u poslepodnevnim časovoma i u letnjim mesecima kada je sunčev zračenje najintenzivnije.

Ozon nastaje pod dejstvom Sunčevog ultraljubičastog zračenja, koje vrši disocijaciju izvesnog broja molekula kiseonika na njegove slobodne atome:



Istovremeno to zračenje dovodi do spajanja atoma i molekula kiseonika:



Pod dejstvom ultraljubičastog (UV) zračenja odigrava se istovremeno inverzan proces u kome se molekuli ozona raspadaju na atome kiseonika, i na taj način se u atmosferi održava približno ista količina ovog gasa.

Kao što smo već pomenuli ozon se nalazi u troposferi, stratosferi i u donjem delu mezosfere. U manjim količinama se nalazi pri tlu u atmosferi zagađenih gradova. Koncentracija mu se menja u vremenu i prostoru, pre svega na visini 15-30 km, gde se ova komponenta generiše i razara u fotohemiskim reakcijama. Ne samo da se njegove koncentracije razlikuju od mesta do mesta na zemaljskoj kugli, nego i njegov uticaj na klimu takođe zavisi i od vertikalne distribucije. Te koncentracije takođe variraju zavisno od

godišnjeg doba, jer letnji meseci sa više sunčeve svetlosti pokreću stvaranje ozona. Najveći deo UV zračenja apsorbuje upravo ozon, tako da ovo zračenje opasno po živi svet ne stiže do površine Zemlje. Međutim, znatnu zabrinutost izazivaju nedavno dobijeni podaci o njegovoj smanjenoj koncentraciji u visokim slojevima atmosfere, što se pripisuje dejstvu veštački proizvedenih hlorofluorougljenika. Njihovim disociranjem oslobada se hlor, koji oduzima atom kiseonika molekulu ozona. Slobodni atom kiseonika iz atmosfere formiranom hloromonoksidu oduzima njegov atom kiseonika, a ovim oslobođen hlor ponovo uzima atom kiseonika nekom drugom molekulu ozona. Na taj način jedan atom hlora je u stanju da razloži ogroman broj molekula ozona. Pored hlorofluorougljenika i ugljen-monoksid i azotni oksidi ( $NO_x$ ) utiču na njegovu koncentraciju, pa i na taj način utiču na zagrevanje staklene bašte. Apsorpciona traka za IR zračenje je na  $10\mu m$ .

## 2. Ciklus ugljenika

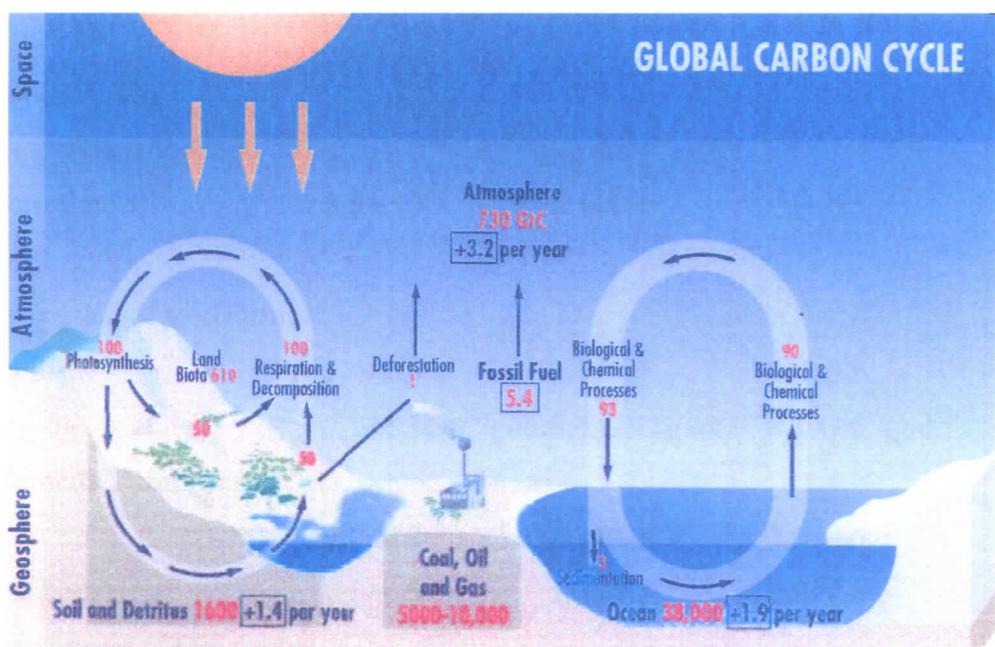
Pošto ugljen-dioksid igra važnu ulogu u klimatskim promenama, on je bio predmet pažnje istraživača u mnogo većoj meri nego ostali gasovi i aerosoli. Njegova koncentracija je od 1800-tih godina porasla za oko 30%, i nastavlja da raste po stopi od oko 1,53 ppm godišnje, kako čovečanstvo nastavlja da sagoreva fosilna goriva i da menja količinu biomase na Zemljinoj površini.

Prirodni procesi neprekidno transportuju ogromne količine ugljenika s jednog na drugo mesto u atmosferi, biosferi i okeanima. Tokom fotosinteze ugljenik ulazi u lanac prehrane, a vraća se u atmosferu tokom respiracije. Okeani rastvaraju ugljen-dioksid i skoro celog ga skladište u obliku bikarbonatnih jona ( $\text{HCO}_3^-$ ), ali deo ugljenika postaje deo morskog lanca prehrane. Veoma mali deo nežive organske materije svake godine završava u obliku sedimenata. Spora, dugotrajna akumulacija organskog ugljenika predstavlja izvor naših fosilnih goriva – nafte, prirodnog gasa, i uglja. Prilikom sagorevanja ovih goriva, stari ugljenik se vraća u atmosferu. U poređenju sa prirodnim putevima ugljenika, dodatne količine koje se emituju u atmosferu kroz sagorevanje i promene u načinu korišćenja zemljišta su skromne, ali i dovoljne da prouzrokuju značajnu reakciju klimatskog sistema.

Prelazak ugljenika iz jednog rezervoara u drugi, kao i količine ugljenika uskladištene u tim rezervoarima sumarno su prikazane na slici 14. Kao što se može videti, ukupne količine ugljenika u atmosferi 1980-tih godina procenjene su na 750 GtC, pri čemu 1 GtC znači 1 gigatona ugljenika ( $10^9$  tona ili  $10^{12}$  kilograma). Pošto je najveći deo tog ugljenika u obliku  $\text{CO}_2$  (manje od 1 posto je u drugim jedinjenjima koja sadrže ugljenik, kao što su metan i ugljen-monoksid), u većini okolnosti je razumno pretpostaviti da je celokupna količina atmosferskog ugljenika u obliku  $\text{CO}_2$ . Količina ugljenika zarobljenog u vegetaciji (610 GtC) je otprilike istog reda veličine kao i količina atmosferskog ugljenika, ali ni jedna od ovih količina se ne može uporediti sa količinom u okeanima. Okeani sadrže više od 50 puta veću količinu ugljenika nego atmosfera.

Tokom 1980-tih, usled sagorevanja fosilnih goriva i proizvodnje cementa, u atmosferu se emitovalo oko 5,5 GtC godišnje (do 1990-tih, ove emisije su dostigle 6,1 GtC/godišnje). Teško je napraviti procene količine smanjenja sadržaja ugljenika uskladištenog u tropskoj vegetaciji koji se oslobađa kroz aktivnosti kao što je sagorevanje biomase i seča šuma, ali se procenjuje da ove promene u načinu korišćenja tropskih šuma emituju oko 1,6 GtC godišnje.

Ponovni rast šuma u severnoj hemisferi poništava deo efekata usled promena u korišćenju tropskog zemljišta uklanjanjem oko 0,5 GtC godišnje iz atmosfere. Još jedan dodatni "terestrijalni ponor" se pripisuje stimulisanom uzgoju bilja usled povećanih količina ugljen-dioksida u vazduhu i povećanog taloženja azota u tlu usled sagorevanja fosilnih goriva. Tako se smatra da NO<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> đubriva uzrokuju situaciju da je fotosinteza veća od respiracije, što uzrokuje neto uklanjanje ugljenika iz atmosfere od 1,3 GtC godišnje. Kretanje ugljenika između okeana i atmosfere je veliko, oko 80 GtC/godišnje, i neto efekat tih kretanja je uklanjanje iz atmosfere oko 2 GtC/godišnje.



Slika 14

Globalni ciklus ugljenika koji prikazuje rezervoare ugljenika (GtC), fluks (Gt/god.), a koji je uprosećen za period od 1980 – 1989 godine. (Izvor: IPCC, 1996)

Tabela 3 sumarno prikazuje dodavanje ugljenika u atmosferu prouzrokovano ljudskim aktivnostima, kao i učešće tih dodavanja u različitim rezervoarima ugljenika. Tokom 1980-tih, sagorevanje fosilnih goriva i promene u načinu korišćenja zemljišta u tropskim krajevima dodavalo je u atmosferu 7,1 GtC/godišnje. Od tih 7,1 GtC/godišnje, 3,8 GtC/godišnje završavalo je u okeanima i drugim terestrijalnim ponorima, a presotalih 3,3 GtC/godišnje ostajalo je u atmosferi. Odnos između količine koja ostaje u atmosferi i emitovanog

atmosferskog ugljenika poznat je pod nazivom "airborne fraction" – vazdušna frakcija. Korišćenjem ovih podataka, vazdušna frakcija je :

$$\text{Vazdušna frakcija} = \frac{\text{GtC/god. količina koja ostaje u atmosferi}}{\text{GtC/god. antropogena emisija}} = 0,46$$

<b>Prosečna godišnja promena količine CO<sub>2</sub> u atmosferi za period</b>	<b>1980 - 1989. god.</b>	<b>1990-1999. god.</b>	<b>2000-2005. god.</b>
<b>Izvori ugljen-dioksida</b>			
Emisija iz sagorevanja fosilnih goriva i proizvodnje cementa	<b>5,5±0,5</b>	<b>6,4±0,4</b>	<b>7,2±0,3</b>
Promene koje potiču od korišćenja tropskog zemljišta	<b>1,6±1,0</b>	<b>1,6±1,0</b>	<b>0,9±0,6</b>
Ukupna antropogena emisija	<b>7,1±1,1 GtC/god.</b>	<b>8,0 GtC/god.</b>	<b>8,1 GtC/god.</b>
<b>Raspodela između rezervoara</b>			
Okeani	<b>2,0±0,8</b>	<b>2,2±0,4</b>	<b>2,2±0,5</b>
Šume severne hemisfere	<b>0,5±0,5</b>	<b>1±0,6</b>	<b>0,9±0,6</b>
Ostali kopneni ponori (CO <sub>2</sub> i azotna đubriva, klimatski efekti)	<b>1,3±1,5</b>	<b>2,6</b>	nije dostupno
<b>Skladištenje u atmosferi</b>	<b>3,3±0,2 GtC/god</b>	<b>3,2±0,1 GtC/god</b>	<b>4,1±0,1 GtC/god</b>

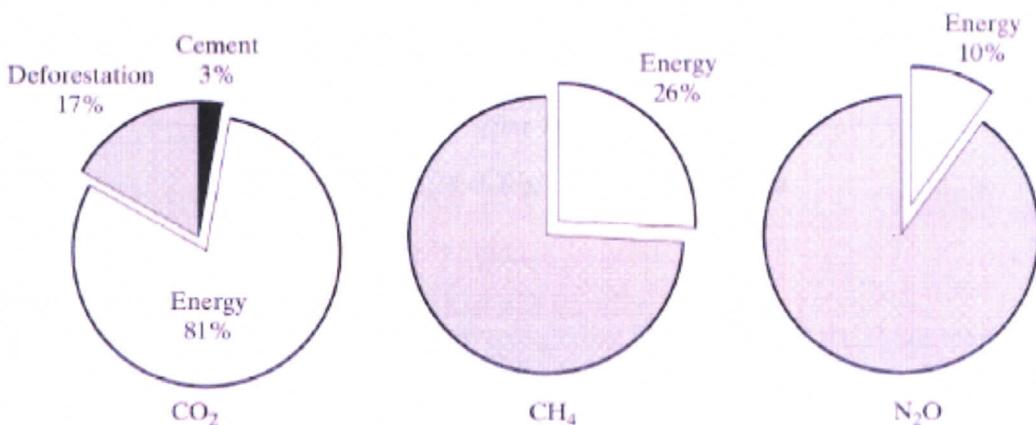
*Tabela 3*

Prema tome, grubo govoreći, otprilike polovina ugljenika koji smo emitovali tokom 1980-tih godina ostala je u atmosferi. Slična situacija je i u sledećoj dekadi, dok se u periodu od 2000.-2005. godine skladištenje u atmosferi povećalo. Ta vazdušna frakcija je veoma koristan parametar koji nam pomaže u izradi predviđanja CO<sub>2</sub> u budućnosti za slučaj različitih scenarija emisije.

Vazdušna frakcija ne mora obavezno da bude fiksna količina. Na primer, ukoliko se sa velikih površina iseče šuma, sposobnost biosfere da apsorbuje ugljenik biće smanjena, a povećaće se vazdušna frakcija. Takođe, veštačka đubriva na bazi CO<sub>2</sub> mogu da stimulišu rast bilja, čime se povećava stopa uklanjanja atmosferskog ugljenika, tako da se vazdušna frakcija smanjuje. Vazdušna frakcija takođe zavisi od brzine kojom se ugljenik dodaje u atmosferu. Za scenarije u kojima postoji mali ili nikakav porast emisije, ili čak u kojima postoji pad emisije, okeani i biljke imaju više vremena da apsorbuju ugljenik, tako da je vazdušna frakcija manja, možda negde oko 35 %. Za scenarije sa brzim rastom emisije, rezervoari ugljenika ne mogu da održe tempo i frakcija koja ostaje u atmosferi može da bude blizu 55 %.

## 2.1. Emisija ugljenika iz fosilnih goriva

Sagorevanje fosilnih goriva predstavlja oko 80 % emisije CO<sub>2</sub>, pri čemu se ostatak uglavnom odnosi na seču šuma i nešto manji iznos na proizvodnju cementa. Korišćenje energije je takođe značajan izvor ostalih gasova staklene bašte, kako se vidi na slici 15. Sem toga, fosilna goriva su važan izvor nastanka ozona, ugljen-monoksida, azotnih oksida i isparljivih hemikalija, kao i glavni izvor sumpornih aerosola.

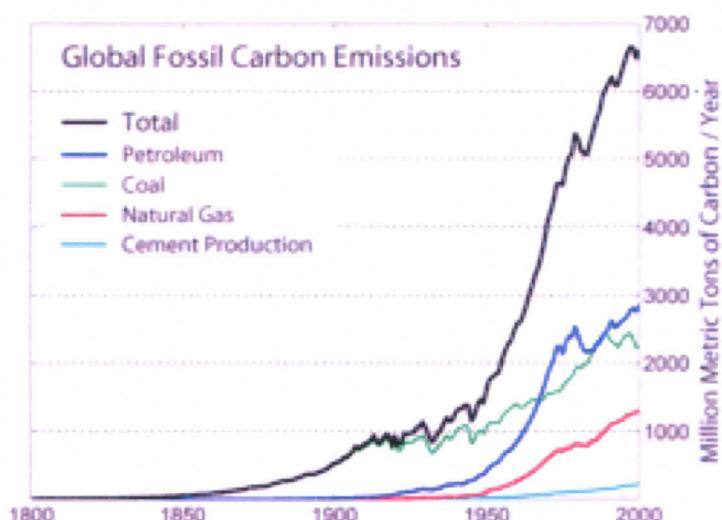


*Slika 15*

*Proizvodnja energije je glavni izvor gasova staklene bašte. Procentualne vrednosti predstavljaju deo antropogene emisije povezane sa dobijanjem energije.*

Količina ugljenika koji se emituje po jedinici isporučene energije naziva se intenzitet ugljenika. Neka goriva imaju visok intenzitet ugljenika, kao što je ugalj, a neka uopšte ne emituju ugljenik, na primer hidro ili nuklearna energija. Interesantno je da goriva iz biomase takođe mogu da se koriste na načine koji ne emituju nikakvu neto količinu ugljenika. Odnosno, gorenjem goriva iz biomase, ugljenik se prosti vraća u atmosferu u količini koju je ta biomasa nekada uzela iz atmosfere. Sve dok se količina sagorele biomase zamjenjuje novim biljnim materijalom svake godine, neto ispuštanje ugljenika je ravno nuli.

Tabalka (1985) je procenio da će potrošnja fosilnih goriva u dvadeset prvom veku udvostručiti količinu CO<sub>2</sub> u atmosferi. Mnogi klimatski modeli koriste dvostruku količinu ugljen-dioksida radi ispitivanja efekata koje gasovi staklene baštne imaju na klimu. S obzirom na plan o redukciji antropogene emisije CO<sub>2</sub>, sasvim je moguće da će se broj izvora ugljen-dioksida, smanjiti u sledećem veku.



Slika 16  
Kretanje emisije (CO<sub>2</sub>) po vrstama goriva

## 2.2. Kruženje ugljenika i prirodi

Vazduh sadrži 0,03% ugljen-dioksida. Biljke ugljen-dioksid koriste tokom procesa fotosinteze kako bi stvorile organske supstance (koje sadrže ugljenik kao osnovni hemijski element) kao što su ugljeni hidrati i belančevine. Ove materije životinje (biljojedi) uzimaju jedući biljke. Životinje zatim, baš kao i biljke, gljive i neke druge bakterije stvaraju ugljen-dioksid respiracijom, tj. disanjem. Sagorevanjem raznih vrsta goriva takođe se odaje određena količina ugljen-dioksida. Stoga sagorevanjem previše uglja i uljanih supstanci (koje sadrže organske komponente) može narušiti prirodnu ravnotežu kruženja ugljenika u prirodi i količinu količinu ugljen-dioksida u atmosferi. Od svih karika lanca ovog ciklusa jedino biljke koriste ugljen-dioksid, dok ga sve ostale karike lanca samo stvaraju.



Slika 17

Ciklus ugljenika

### **3. Prirodni i antropogeni aerosoli**

#### **3.1. Aerosoli**

Čestice u atmosferi su definisane kao svaka čvrsta ili tečna dispergovana materija kod koje su agregati veći od 0,0002 mikrometra a manji od 500 mikrometara u prečniku. Zavisno od veličine, čestice prisutne u atmosferi svrstavaju se u dve grupe:

- taložne materije čiji je prečnik čestica veći od 10 mikrometara i
- čestice u suspenziji ( aerosoli ) čiji je prečnik čestica manji od 10 mikrometara.

Brzina taloženja čestica iz atmosfere zavisi od njihove veličine i specifične težine. Brzina taloženja čestica raste sa porastom veličine i specifične težine čestice.

Pod aerosolima podrazumevamo čestice prečnika do 10 mikrometara, koje se pojavljuju u čvrstom i tečnom agregatnom stanju i lebde u atmosferi. U ovu grupu spadaju čestice prašine, dim, magla, smog, prah polena, mikroorganizmi, biljni i životinjski proizvodi, itd. Aerosoli nastaju kao rezultat hemijskih reakcija zagadjujućih materija u vazduhu, podizanja pustinjske prašine i morskih kapljica, šumskih požara, poljoprivrednih i industrijskih aktivnosti i putem sagorevanja goriva u vozilima. Aerosoli formiraju zamućen sloj u troposferi, a mogu se pojaviti, kao rezultat vulkanskih erupcija, i u stratosferi na visinama od 20 km. Ove čestice povećavaju difuzno zračenje. Neki aerosoli kao što je naprimer čad, apsorbuju sunčevu zrečenje i sprečavaju da isto stigne u niže slojeve atmosfere i do tla. Time izazivaju efekat hlađenja pri tlu. Pored ovog efekta aerosoli katalitički deluju na formiranje oblaka pa time dodatno doprinose efektu hlađenja preko povećanja albeda oblačnog sloja. Vreme zadržavanja aerosola u atmosferi je kraće od trajanja zadržavanja gasova staklene bašte zato što se oni efikasno uklanjaju vlažnom depozicijom putem padavina. Efekat hlađenja koji izazivaju je više lokalnog karaktera, za razliku od efekta gasova staklene bašte koji imaju izražen lokalni karakter. Po svom poreklu aerosoli mogu biti prirodni i antropogeni, na osnovu hemijskog sastava mogu se svrstati u:

- homogene aerosole (istog hemijskog sastava) i
- heterogene aerosole (različitog hemijskog sastava)

Aerosoli mogu da budu organske ili neorganske prirode. Organske čestice se mogu deliti u supstance koje su rastvorljive u benzenu (većina organskih jedinjenja sa velikom molekulskom masom) i materije koje nisu rastvorljive u benzenu (polenov prah, mikroorganizmi). Supstance rastvorljive u benzenu obuhvataju i one koje su potencijalno kancerogene (policiklični ugljovodonici). Oni nastaju pri nepotpunom sagorevanju, a nalaze se u prašini asfaltnih puteva. Čestice biljnog i životinjskog porekla često izazivaju alergijske reakcije (polenov prah).

### 3.2. Prirodni aerosoli

Prirodni aerosoli u atmosferi mogu da se pojave kao:

- kosmička prašina,
- vulkanska prašina,
- čestice dima i
- čestice praštine.

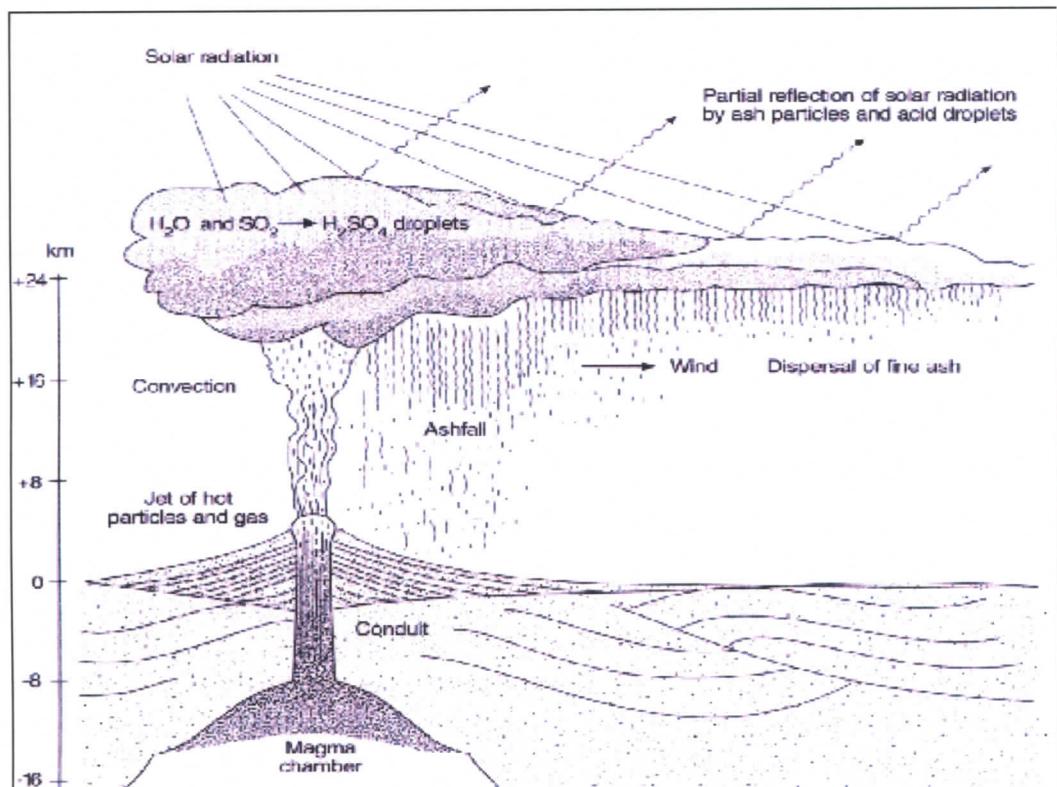
*Kosmička prašina* je sastavljena od mikrometeorita koji su zahvaćeni Zemljinom gravitacijom iz međuplanetarnog prostora prodrli u atmosferu. Mikrometeoriti se uglavnom sastoje od gvožđa, nikla i aluminijuma čije su se čestice sporo taložile tokom miliona godina.

*Vulkanska prašina* u atmosferu dospeva putem vulkanskih erupcija. Čestice se sporo rasprostiru kroz atmosferu zadržavajući sa u njoj i po nekoliko godina. Na primer posle erupcije vulkana Katomaja 1912. godine, sunčev zračenje je smanjeno na 25% od njegove uobičajene vrednosti. Bilo je potrebno da prođe dve godine da bi se atmosfera očistila.

*Čestice dima* u atmosferu ulaze posle velikih šumskih požara, ponekad prateći velike oblake dima, koji se potom prostiru na velike daljine. Posle šumskog požara 1950. godine u Zapadnoj Kanadi, oblak dima je dospeo do Engleske i Norveške.

*Čestice praštine* imaju različito poreklo (zemlja, pustinja, itd.) a sa Zemlje ih podiže vetar. One najviše sadrže: kvarc, okside gvožđa i aluminijuma, soli kalcijuma itd. Čestice praštine imaju dimenzije do 20 nm. Međutim, na visini od 1-2 km tokom leta preovlađuju čestice praštine dimenzija 0,7 – 2,0 mikrometra. Tokom zime njihove dimenzije su i manje. Osim

neorganskih čestica u sastav čestica prašine ulaze i organske materije kao što su polen (20-60  $\mu\text{m}$ ) i bakterije (1-15  $\mu\text{m}$ ).



Slika 18

Prikaz erupcije vulkana i oblaka prašine, koji sledi kao njegova posledica

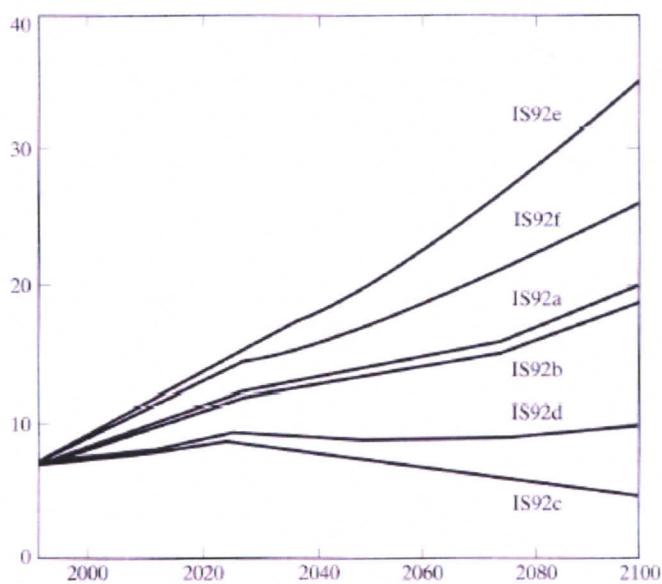
### 3.3. Antropogeni aerosoli

Antropogeni aerosoli dospevaju u atmosferu iz: industrijskih postrojenja, urbanih sredina i aviona. Uglavnom su to produkti nepotpuno sagorelih čestica ugljenika i različitih ugljovodonika dimenzija od oko 0,07  $\mu\text{m}$ . Ove čestice su veoma luke i nošene vетrom mogu veoma lako da odu od izvora. Zajedno sa ovim česticama u atmosferi dospevaju i sumporna kiselina i cink oksid (0,03-0,3  $\mu\text{m}$ ).

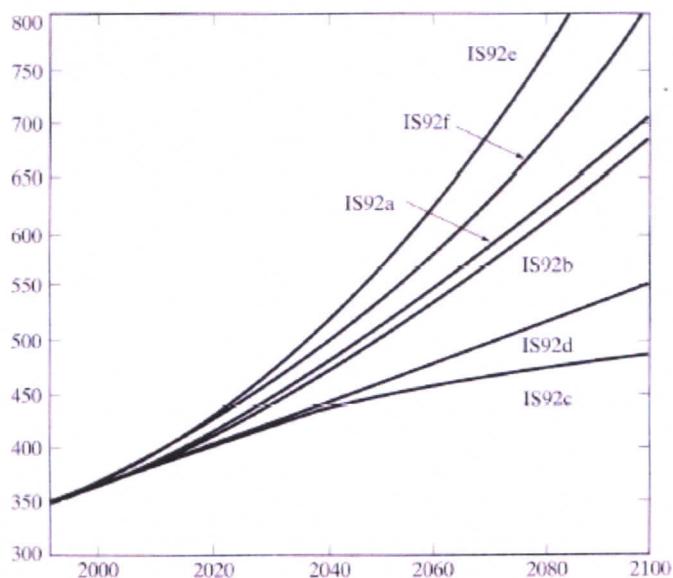
## 4. IPCC scenariji emisije

IPCC je izradio nekoliko scenarija emisije gasova staklene bašte i aerosola koji su postali standardna ulazna osnova svima koji se bave modeliranjem klime. To nisu procene ili predviđanja, već scenariji čiji je cilj da obuhvate veliki broj mogućih situacija oko emisije u budućnosti. Zapravo učinjen je pokušaj da se proceni verovatnoća bilo kog scenarija.

Predstavljen je jedan set od šest scenarija koji je uraden u IPCC izveštaju za 1992. godinu. Njih zajednički nazivamo IS92, gde IS označava scenario IPCC, a 92 godinu izveštanja. Delovi emisije ugljenika iz ovih scenarija i rezultujuće koncentracije ugljen-dioksida prikazani su na slici 19. Kompletni scenariji uključuju i ostale gasove staklene bašte ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , halougljenici) kao i sumpor okside i  $\text{NO}_x$ , VOC i CO prekursore troposferskog ozona. U kompletnim scenarijima su uključene širom sveta preuzete obaveze da se smanji upotreba supstanci koje uništavaju ozon IS92a je jedan «srednji» scenario koji, na primer, koristi srednjoročne projekcije rasta stanovništva i privrednog razvoja. Scenariji IS92 koji su prikazani na slici 19 prikazuju ukupne svetske emisije samo jednog gasa,  $\text{CO}_2$ . Kompletni scenariji uključuju emisije svih gasova staklene bašte na regionalnoj i svetskoj osnovi. Slika 20. predstavlja regionalne stope emisije za dva najvažnija gase staklene bašte,  $\text{CO}_2$  i  $\text{CH}_4$ , za godine 1990. i 2100., uz korišćenje srednjeg scenarija IS92a. Primećujemo kako se sa vremenom pomera distribucija emisije ugljenika. Godine 1990., 2,8 GtC koji su emitovale ekonomsko razvijene zemlje je predstavljalo skoro polovinu ukupne svetske emisije. U godini 2100. ova emisija porasla bi na 4,3 GtC godišnje, ali do tog vremena je ostatak sveta toliko povećao svoju emisiju da ekonomsko razvijene zemlje predstavljaju samo 22 posto ukupne emisije. Po ovom scenariju stopa emisije ugljenika za Kinu i ostale centralnoazijske zemlje sa planskom privredom, rastu sa 0,6 GtC godišnje (1990. godina) na 4,2 GtC godišnje (2100. godina). Ovakvo pomeranje, uzrokovano prvenstveno porastom potražnje za energijom u zemljama u razvoju, je mnogo dramatičnije u pomeranju procenata za  $\text{CH}_4$ , što je prikazano na slici 20b.



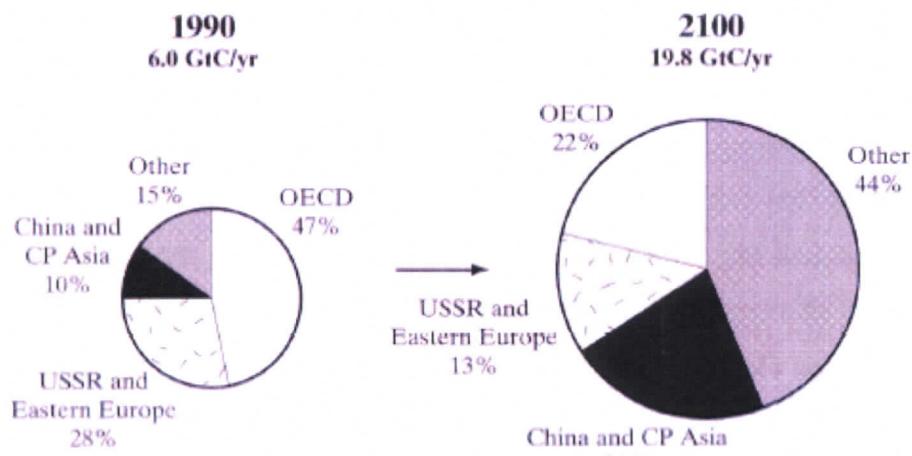
(a)



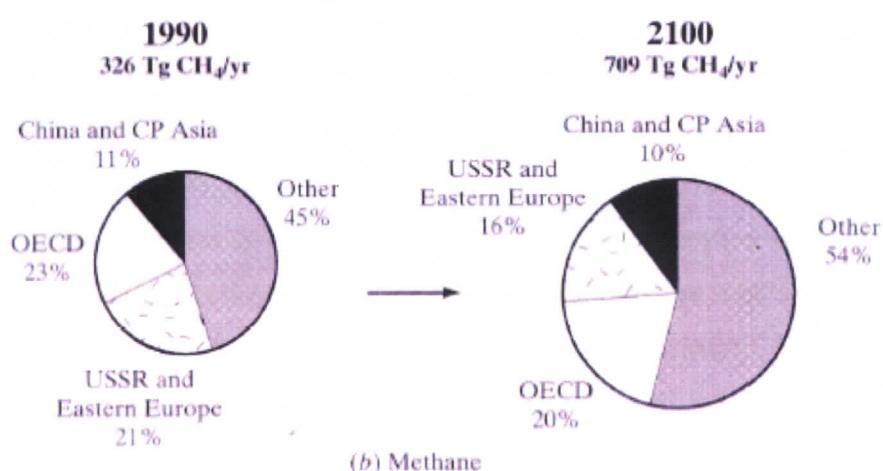
(b)

Slika 19

Šest IPCC 1992 scenarija za ugljenik. (a) godišnja emisija  $CO_2$  (GtC) koja potiče od dobijanja energije, cementa i uništavanja tropskih šuma. (b) rezultujuća koncentracija  $CO_2$ (ppm). (Izvor: IPCC, 1996)



(a) Carbon Dioxide



(b) Methane

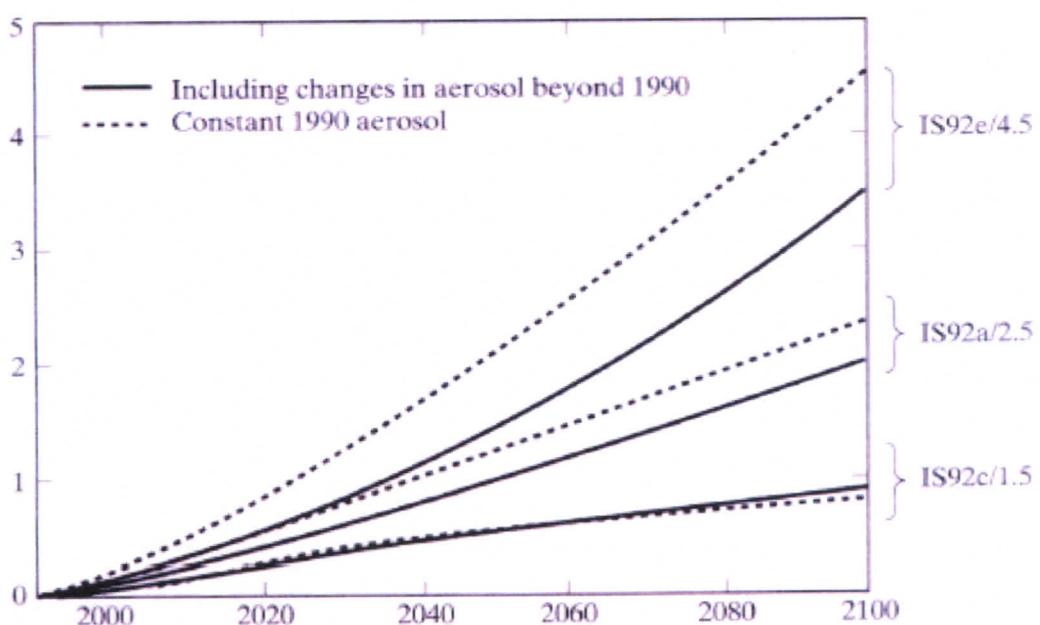
### Slika 20

IS92a emisioni odnos za CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> u 1990 i 2100 god. Ova poređenja iz IPCC (1992) malo se razlikuju od skorašnjih IPCC izveštaja.

#### **4.1. Predviđanje srednjih globalnih temperatura**

Za narednih 100 godina scenariji IS92 daju šest različitih procena emisije gasova staklene bašte. Ovih šest scenarija se koriste kao ulaz za modele koji procenjuju buduće srednje globalne temperature. Ti temperaturni modeli obično kao jedan od parametara imaju klimatsku osetljivost,  $\Delta T_{2x}$ , koja predstavlja promenu srednje globalne temperature koja proističe iz udvostrućenih ekvivalentnih CO<sub>2</sub> koncentracija. Opšti cirkulacioni modeli imaju tendenciju da daju  $\Delta T_{2x}$  u polju između 1,5°C i 4,5°C. Sada je postala uobičajena praksa za modele srednje globalne temperature da koriste tri moguće vrednosti te klimatske osetljivosti: 1,5°C; 2,5°C i 4,5°C. Množenjem 6 scenarija sa 3 klimatske osetljivosti dobijamo 18 mogućih procena budućih srednjih globalnih temperatura. Dodatni ograničavajući faktor je neizvestan uticaj budućih koncentracija aerosola. Neki modeli se rade pod pretpostavkom da neće biti promena u koncentraciji aerosola, tj. da će negativno forsiranje uzrokovano aerosolima ostati konstantno od vremena 1990. Neki drugi modeli rade pod pretpostavkom da će aerosoli u budućnosti rasti. Šest scenarija IS 1992, sa tri moguće klimatske osetljivosti, i dve mogućnosti za aerosole, znači 36 različitih procena srednje globalne temperature u budućnosti.

Opseg rezultujućih srednjih globalnih temperatura po osnovu scenarija IS92 prikazan je na slici 21. Do 2100. godine, taj opseg se kreće između 0,8°C i 4,5°C. Srednja procena, koja se podudara sa scenarijom IS92a sa konstantnim emisijama aerosola i klimatskom osetljivošću od 2,5°C, sugerije da bi temperatura zemlje oko 2100. godine mogla da bude negde oko 2,4°C toplija nego sada. To bi značilo da će planeta biti toplija nego što je ikada bila tokom stotina hiljada godina.



*Slika 21*

*Opseg mogućih promena temperature na globalnom nivou. Gornja kriva je za IS92e pretpostavljajući konstantnu koncentraciju aerosola oko 90-tih, i veliku klimatsku osetljivost ( $\Delta T_{2X}=4,5^{\circ}\text{C}$ ); niža kriva je za IS92c, takođe se pretpostavlja konstantna koncentracija aerosola, ali uz nižu klimatsku osetljivost ( $\Delta T_{2X}=1,5^{\circ}\text{C}$ ). Srednji scenario je za IS92a koji dovodi do temperaturne promene od 2,0 do 2,4 °C.*

## **4.2. Kjoto protokol**

### ***Kjoto protokol i klimatske promene***

Još od industrijske revolucije, ljudske aktivnosti rezultuju povećanim koncentracijama gasova koji stvaraju efekat staklene bašte u atmosferi. Među naučnicima koji se bave klimom sada postoji široka saglasnost da je povećanje ovih gasova u atmosferi velikim delom posledica antropogenih delatnosti, kao i da će ova povećana koncentracija dovesti do viših globalnih temperatura (globalno zagrevanje) i stoga povlačenja glečara i podizanja nivoa mora širom sveta. Takođe se predviđa da će količina i karakter raspodele padavina dovesti do poplava i suša i da će porasti učestalost ekstremnih vremenskih uslova.

Kjoto protokol identificuje šest najznačajnijih gasova koji utiču na stvaranje efekta staklene bašte, od kojih svaki ima drugačiji Potencijal globalnog zagrevanja (Global Warming Potential, GWP). GWP označava relativni efekat gasova staklene bašte na globalno zagrevanje u poređenju sa takvim efektom ugljen-dioksida u periodu od sto godina. Najznačajniji gasovi staklene bašte su: ugljen-dioksid (GWP=1), metan (GWP=21), azot-oksid (GWP=310), kao i gasovi iz grupe fluoro-ugljovodonika (GWP=140-11700) i perfluoro-ugljenika (GWP=6500-9200). Na osnovu dodeljenih GWP, moguće je količine svih ovih gasova iskazati u formi jedne jedinice: ekvivalenta ugljen-dioksida ( $\text{CO}_2\text{e}$ ). Usled velikog obima emisija, ti gasovi se obično izražavaju u tonama  $\text{CO}_2\text{e}$ . Pretvaranje se vrši tako što se količina svakog emitovanog gasa, izražena u tonama, pomnoži dodeljenom vrednošću GWP.

### ***Kjoto protokol uz UNFCCC***

Kjoto protokol uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama (The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on the Climate Change) je dodatak međunarodnom sporazumu o klimatskim promenama, tj. Okvirnoj konvenciji UN o klimatskim promenama (United Nations Framework Convention on the Climate Change, UNFCCC), potpisani sa ciljem smanjivanja emisije gasova koji stvaraju efekat staklene bašte. Kjoto protokol je stupio na snagu 16. februara 2005. godine. Do ovoga trenutka Kjoto protokol je dogovoren samo za period od 2008. do 2012. godine. U ovom periodu Zemlje

potpisnice iz Aneksa i kolektivno moraju da smanje svoje emisije za 5% u odnosu na emisiju iz 1990. godine.

Države koje su ratifikovale Kjoto protokol su podeljene u dve grupe:

1. industrijski razvijene zemlje (države navedene u Aneksu I Kjoto protokola, ili kraće Aneks I zemlje), koje su prihvatile obavezu da smanje emisije ovih gasova do 2012. godine; ove zemlje moraju da pripremaju i dostavljaju inventar gasova staklene bašte svake godine, i
2. zemlje u razvoju (države koje nisu navedene u Aneksu I Kjoto protokola, tj. ne-Aneks I zemlje), koje nemaju nikakve obaveze u pogledu smanjenja emisija, ali mogu da doprinesu smanjenju emisija gasova staklene bašte i ciljeva razvijenih zemalja putem realizacije projekta kroz Mehanizam čistog razvoja Kjoto Protokola.

Sve države koje su ratifikovale Kjoto protokol se nazivaju Potpisnicama Kjoto protokola. Zemlja potpisnica iz Aneksa I može ispuniti svoje obaveze tako što će da smanji emisiju gasova staklene bašte na svojoj teritoriji, uvođenjem odgovarajućih mera, ili na teritorijama drugih država, potpisnica, primenom tzv. *fleksibilnih mehanizama Kjoto protokola*.

Fleksibilni mehanizmi su tržišni mehanizmi koji su razrađeni kako bi se omogućilo državama iz Aneksa I da lakše i na prihvatljiviji način ostvare predviđeno smanjenje emisije pomenutih štetnih gasova. Postoje tri fleksibilna mehanizma Kjoto protokola:

1. Međunarodna trgovina emisijama (International Emission Trading, IET)
2. Zajednička realizacija (Joint Implementation, JI) i
3. Mehanizam čistog razvoja (Clean Development Mechanism, CDM)

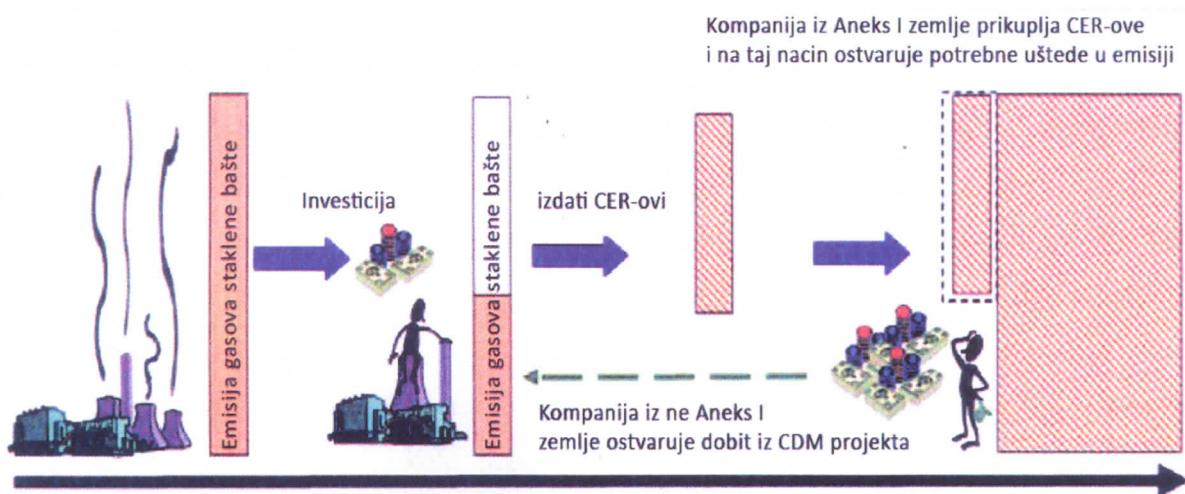
### ***Mehanizam čestog razvoja Kjoto protokola***

*Mehanizam čestog razvoja (CDM)* je mehanizam u okviru Kjoto protokola koji omogućava pravnim licima iz industrijski razvijenih zemalja (države Aneksa I Kjoto protokola) da investiraju u projekte koji smanjuju emisije, a realizuju se na teritorijama zemalja u razvoju (ne-Aneks I zemlje). Ovo je jedini fleksibilan mehanizam koji omogućuje učešće ne-Aneks I zemalja u projektima smanjenja emisija gasova staklene bašte.

Svrha CDM aktivnosti je zapravo pomoći zemljama domaćinima (ne-Aneks I zemlje), da, na finansijski povoljniji način, postignu održivi razvoj doprinoseći ostvarivanju krajnjeg

cilja UNFCCC-a, smanjenje emisije gasova staklene bašte, i pomoć Aneks I zemljama u ispunjavanju obaveza prema Kjoto protokolu. Postignuti rezultati smanjenja emisija se obračunavaju i uzimaju u obzir kao *Verifikovana smanjenja emisija* (Certified Emission Reductions, CERs) koja imaju svoju vrednost na tržištu.

Sa druge strane, ne-Aneks I zemlje na čijim teritorijama se razvijaju takozvani CDM projekti takođe imaju koristi jer se na taj način privlače značajne investicije, povećava transfer novca i omogućava uvođenje modernih, tzv. „zelenih“ tehnologija koje su ekološki prihvatljivije, tehnološki naprednije i energetski efikasnije. Prodajom Verifikovanih smanjenja emisija (CER) koje nastaju kao rezultat realizacije CDM projekta, moguće je finansijski neutraktivne, a ekološki prihvatljive projekte učiniti isplativim i privlačnim za investitore.



Obim investicija jedne strane iz zemalja Aneks I je u direktnoj vezi sa očekivanim smanjenjima emisija iz CDM projekata, tj. količinom CER-ova koja realizacijom projekta nastaje. Većina kupaca je zainteresovana za same CER-ove, ali postoje i investicioni fondovi koji mogu da obezbede povoljne kredite ili da razviju neki konkretan CDM projekat kako bi dobili deo od očekivane buduće dobiti odnosno buduće CER-ove. Količina CER-ova koja kupi neka strana iz zemlje Aneksa I koristiće se za ispunjenje nekih obaveza u pogledu smanjenja emisija.

## **5. Uticaj promene emisije CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta, efekta klimatske povratne sprege u ugljenikovom ciklusu i promene forsiranja aerosolima na promenu procenjene srednje temperature**

MAGICC (Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change) Model za procenu klimatskih promena izazvanih efektom "staklene baštice" je skup modela kruženja gasova, klimatskih modela i modela topljenja polova koji korisniku omogućava da odredi srednju globalnu temperaturu i njen uticaj na nivo mora i okeana, na osnovu emisivnosti gasova koji izazivaju efekat "staklene baštice" i emisivnosti sumpor dioksida. MAGICC je osmišljen da se koristi u dve glavne svrhe:

- da uporedi emisije po "Policy" scenariju sa emisijama po "Reference" scenariju da bi se videlo koliko je odstupanje od kontrolnih vrednosti predvidenih po "Policy" scenariju.
- da prikaže kolike su promene rezultata ako se promeni neki od parametara modela.

MAGICC je klimatski model koji se koristio u svim IPCC ocenama projekcija srednje globalne temperature. Da bi se MAGICC pokrenuo prvo se moraju odabrati dva emisiona profila (scenarija).

Oni su nazvani Reference Scenario i Policy Scenario (Predviđena emisija gasova "staklene baštice" po Kjoto protokolu predstavljena je u programu MAGICC kao Policy Scenario) i njihovi standardi su Reference = IS92a i Policy= IS92d.

## **5. 1. Parametri modela**

### **5.1.1. Model ugljenikovog ciklusa**

Uključivanje ovog modela omogućava korisniku da ispita nesigurnosti u modelu ugljenikovog ciklusa menjajući srednju vrednost iz 1980. godine ukupne promene emisija CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta (D<sub>n</sub>80s).

Osnovna vrednost za ovu promenljivu je 1,1GtC godišnje, što je i najbolja procena IPCC SAR. Postoji značajna nesigurnost pravih vrednosti ovih promena emisija CO<sub>2</sub>. IPCC SAR opseg nesigurnosti je od 0,4 do 1,8 GtC godišnje. Korišćenje nižih vrednosti vodi do većih koncentracija i obrnuto. MAGICC pokreće model ugljenikovog ciklusa tri puta, svaki put sa različitom D<sub>n</sub>80s vrednošću: 1,8; 1,1 i 0,4 GtC. Ova podešavanja, i dodatni CO<sub>2</sub> faktor fertilizacije, određuju visoki i niski kraj opsega za MAGICC prikaz koncentracije CO<sub>2</sub>. Treba napomenuti da IPCC TAR , sugerše malo drugačije vrednosti za gore navedene parametre. Kada je klimatska povratna sprega uključena u MAGICC modelu ugljenikovog ciklusa, koncentracije CO<sub>2</sub> se slažu sa IPCC TAR vrednostima .

### **5.1.2. C-ciklus klimatske povratne sprege**

Važna promena od SAR do TAR je uključivanje kvantifikacije efekata klimatske povratne sprege u ugljenikov ciklus. Zbirni efekat je pozitivna povratna sprega, tako da njeno uključivanje dovodi do veće koncentracije koja se u suprotnom ne bi dobila. Postoji značajna nesigurnost u vrednostima ovih povratnih sprega, i svaki od ova tri modela ugljeničnih ciklusa korišćenih u IPCC TAR [ Joos et al. (BERN), Jain et al. (ISAM) MAGICC modelima] imaju drugačije vrednosti. MAGICC koristi vrednosti povratnih sprega koje daju zbirnu klimatsku povratnu spregu koja je neznatno niža od vrednosti druga dva modela. Ove povratne sprege se mogu uključiti ili isključiti (po default-u je uključeno) tako da bi korisnik mogao da prosudi značaj MAGICC klimatskih povratnih sprega.

### **5.1.3 Forsiranje aerosolima**

Postoje četiri komponente aerosolnih uzročnika efekta staklene bašte koji se koriste u MAGICC-u. Kod sve četiri komponente su moguće velike nesigurnosti. Početne vrednosti u MAGICC-u su one koje se koriste u IPCC TAR, ali korisnik kao alternative može da selektuje visoke ili male vrednosti aerosolnih uzročnika efekta staklene bašte.

**Direktno:** Ovo forsiranje je direktno, efekat čistog neba sulfatnim aerosolima nastale sagorevanjem fosilnih goriva, ti aerosoli su izvedeni iz  $\text{SO}_2$  emisije. MAGICC koristi ustaljeno trenutno forsiranje procenjeno na  $-0,4 \text{ W/m}^2$ .

**Indirektno:** Indirektni efekt forsiranja aerosola je manje tačan nego direktni efekt. MAGICC koristi ustaljene vrednosti za trenutno indirektno forsiranje  $-0,8 \text{ W/m}^2$ .

**Biosferično:** Ovo forsiranje je iz aerosola emitovanih sagorevanjem biomase, suma organskog i ugljenikovog forsirnja aerosolima. Ustaljena trenutna vrednost ove komponente forsiranja je  $-0,2 \text{ W/m}^2$ . Forsiranje je paralelno bruto promeni emisije usled korišćenja zemljišta.

**FOC:** Ova skraćenica je Fossil plus Organic Carbonaceous aerosol forcing (Fosilno plus organsko ugljenikovo aerosolno forsiranje - često zvano čad). Ustaljena trenutna vrednost ove komponente forsiranja je  $0,1 \text{ W/m}^2$ , sa forsiranjem skaliranim paralelno sa  $\text{SO}_2$  emisijom.

Odvjene komponente aerosolnih uzročnika efekta staklene bašte se ne mogu menjati od strane korisnika. Srednji totalni efekat 1990. je  $-1,3 \text{ W/m}^2$ . Niske i visoke vrednosti su  $-0,8 \text{ W/m}^2$  i  $-1,8 \text{ W/m}^2$ .

### **5.1.4. Klimatska osetljivost**

Klimatska osetljivost definiše ravnotežni odgovor globalne temperature vazduha uz dupliranje koncentracije  $\text{CO}_2$ . IPCC SAR najbolja procena ovog parametra je  $2,5^\circ\text{C}$ , sa opsegom od  $1,5^\circ$  do  $4,5^\circ\text{C}$ . Za TAR projekcije korišćena je srednja vrednost od  $2,6^\circ\text{C}$  (sredina za sedam AOGCM-ova čiji rezultati su korišćeni za kalibriranje MAGICC-a). U osnovnom modu MAGICC pokreće svaki emisioni scenario tri puta kroz klimatski model, svaki put sa drugaćjom vrednošću klimatske osetljivosti:  $1,5^\circ$ ,  $2,6^\circ$  i  $4,5^\circ\text{C}$ . Ova tri

pokretanja definišu donji i gornji kraj opsega projekcija globalne temperature (približno 90% intervala poverenja) koji su prikazani na temperaturnom grafiku.

### **5.1.5. Termohalinska cirkulacija**

Bitno obeležje temperaturnih promena i okeanskog termalnog širenja je kako se menja termohalinska cirkulacija. Standardan slučaj je usporenje THC kao posledica globalnog otopljenja, u iznosu jednakom srednjoj vrednosti THC promene rezultata 7 AOGCM modela čiji su rezultati korišćeni za kalibraciju MAGICC-a. Da bi se prikazala dejstva ovog smanjenja na temperaturu i nivo mora, korisnik može da selektuje i standardni (promenljiv THC) mod, ili promenljiv (konstantan) THC mod.

### **5.1.6. Vertikalna difuzivnost**

Drugo bitno obeležje temperaturnih promena i okeanskog termalnog širenja je brzina kojom se okeanskim širenjem transportuje toplota od površine ka dubini okeana, a u MAGICC-u je parametrizovana vertikalnom difuzivnošću. Standardni slučaj ( $2,3 \text{ cm}^2/\text{s}$ ) je u skladu sa srednjom vrednošću efektivne difuzivnosti za 7 AOGCM modela.

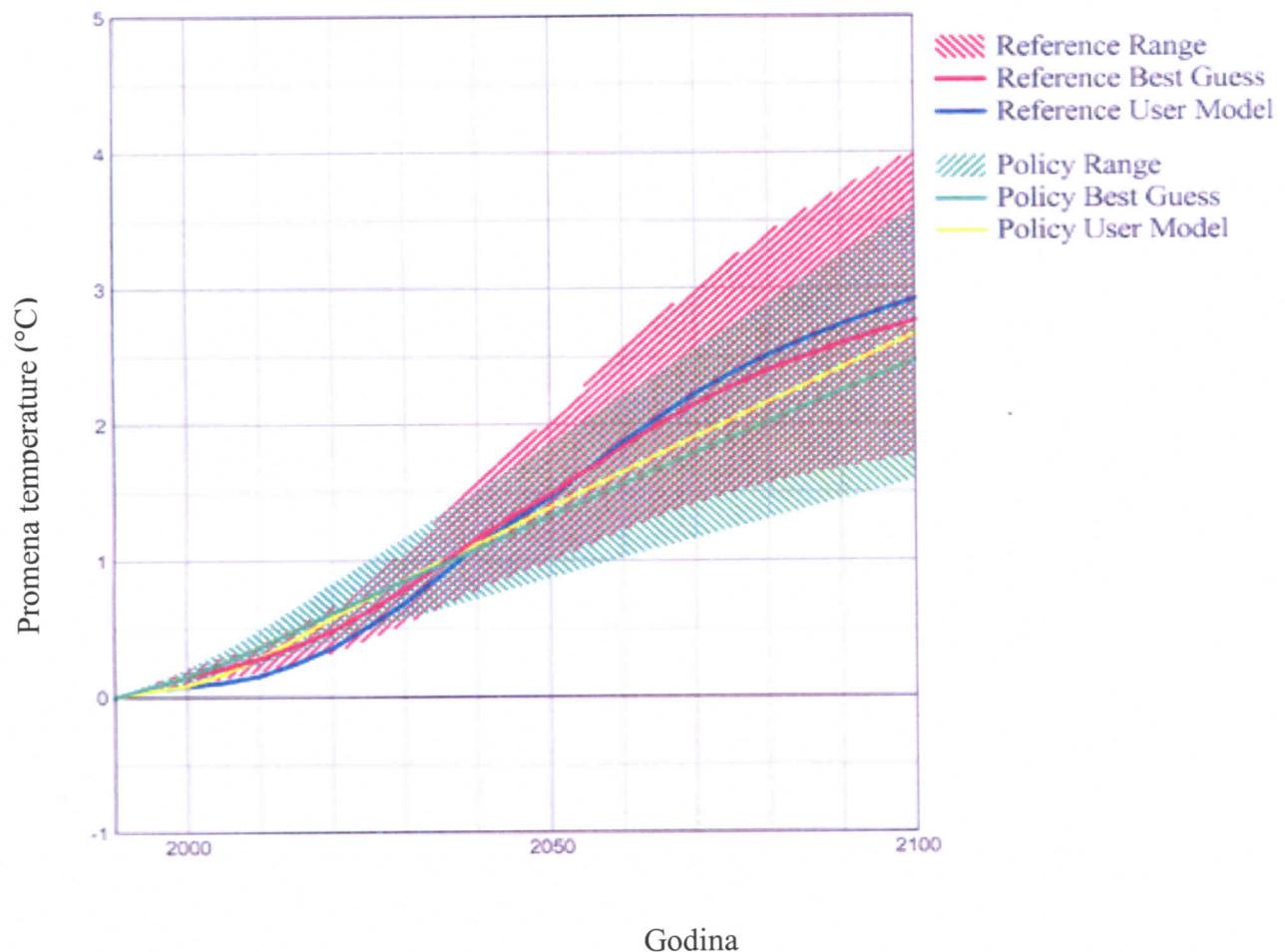
## **5.2. Analiza klimatskih posledica usled određenih promena parametara modela**

Korišćeni parametri modela su: klimatska osetljivost ( $\Delta T_{2x}$ ) =  $2,6^\circ\text{C}$ , promenljiva termohalinska cirkulacija, vertikalna difuzivnost ( $K_z$ ) =  $2,3 \text{ cm}^2/\text{s}$ , srednji parametar topljenja leda.

### 5.2.1. Promena procenjene srednje temperature sa uključenom klimatskom povratnom spregom u ugljenikovom ciklusu, za različite vrednosti ostalih kontrolnih parametara

Model ugljenikovog ciklusa: 0,4 GtC (high)

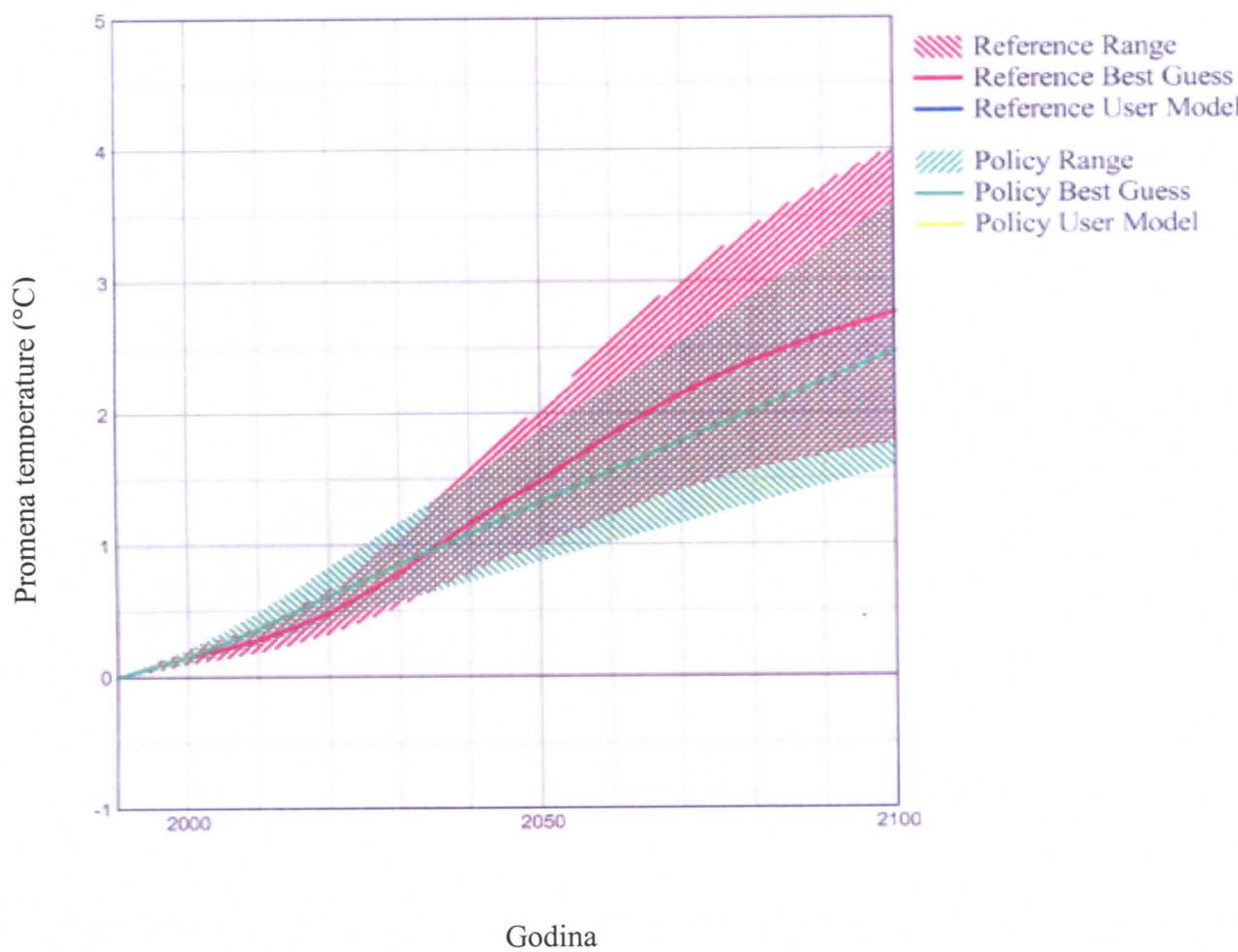
Forsiranje aerosolima:  $-1,8 \text{ Wm}^{-2}$  (high)



Grafik 1

Model ugljenikovog ciklusa: 1,1 GtC (mid)

Forsiranje aerosolima:  $-1,3 \text{ Wm}^{-2}$  (mid)

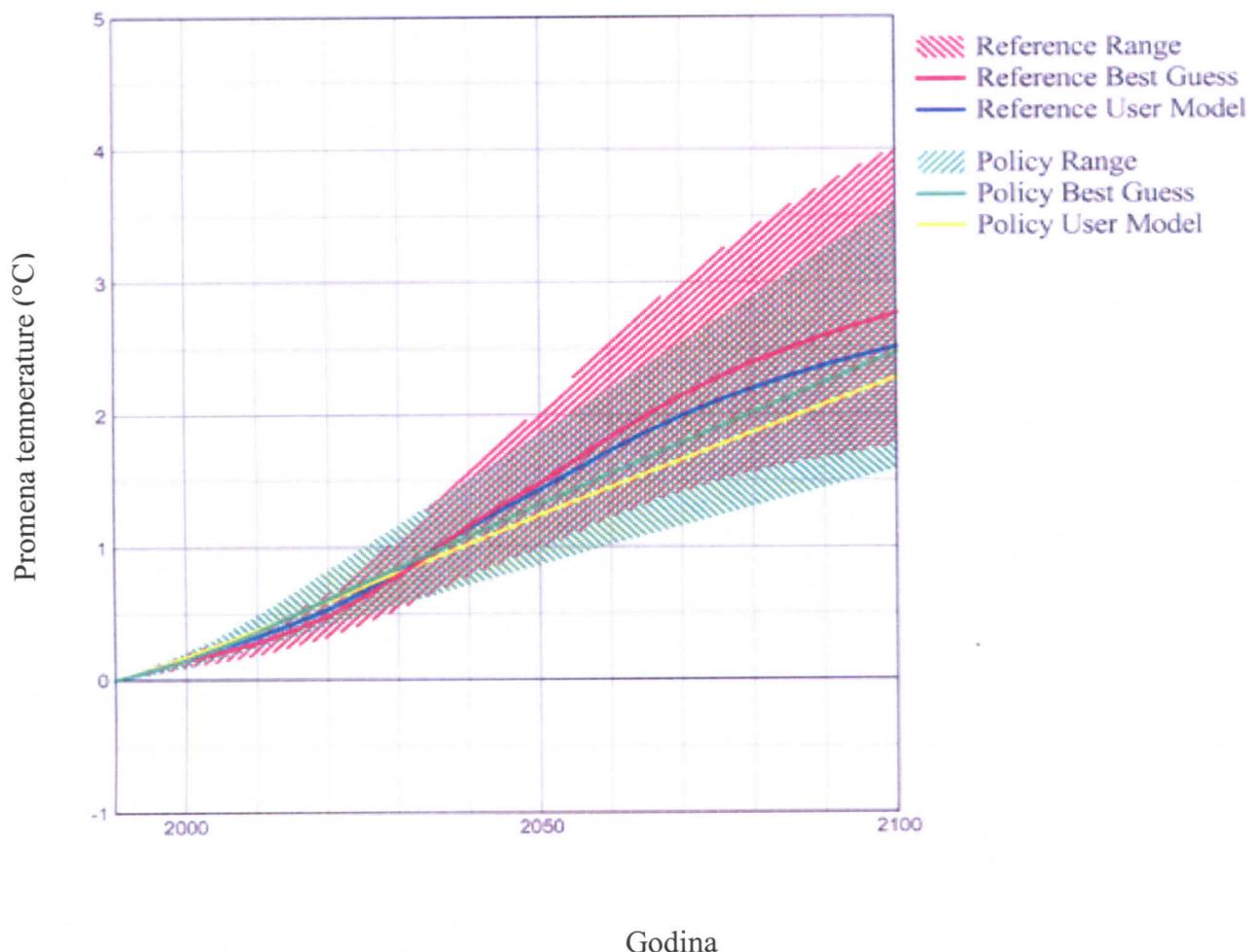


Godina

Grafik 2

Model ugljenikovog ciklusa: 1,8 GtC (low)

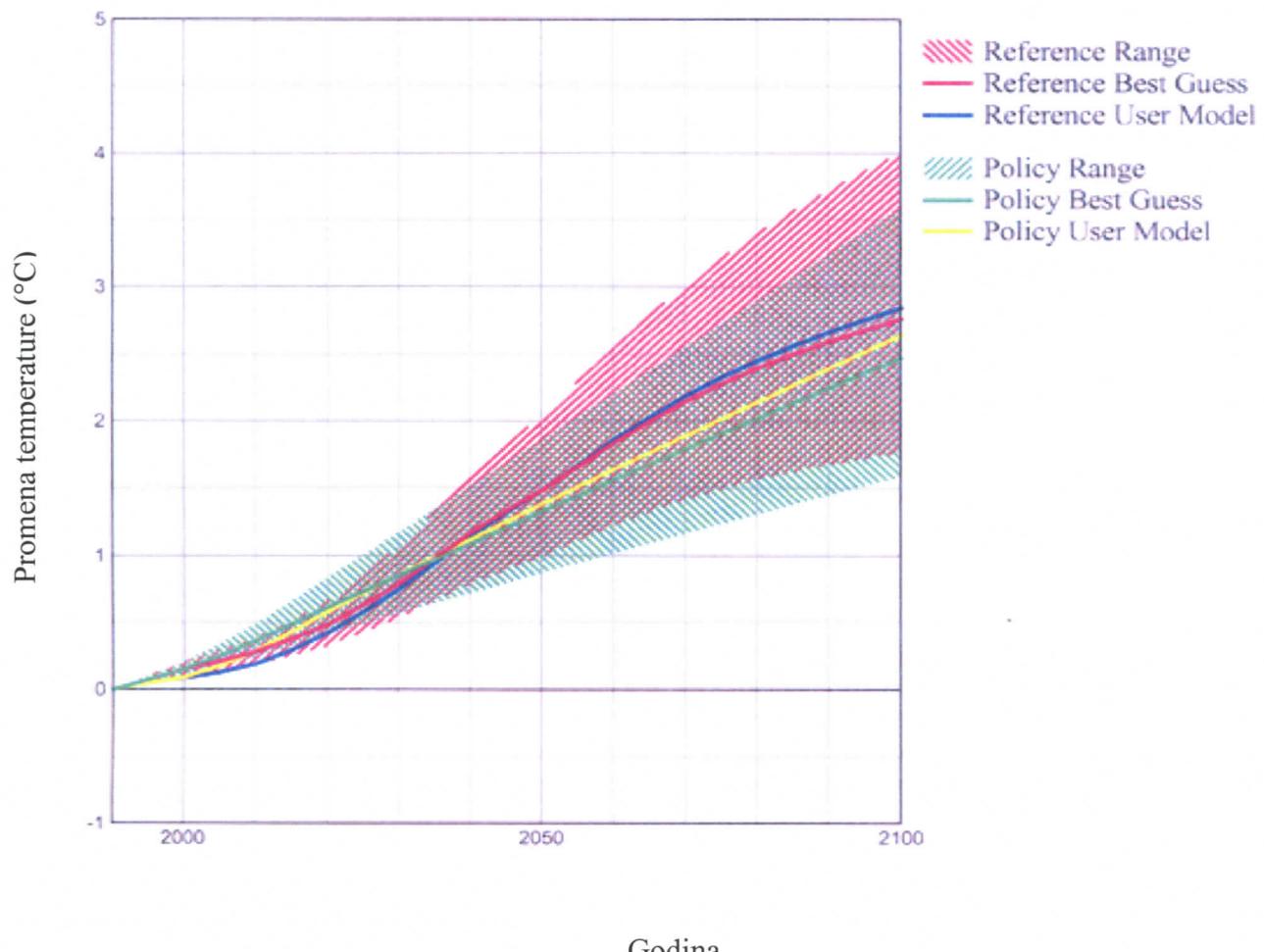
Forsiranje aerosolima: -0,8 Wm<sup>-2</sup> (low)



Grafik 3

Model ugljenikovog ciklusa: 0,4 GtC (high)

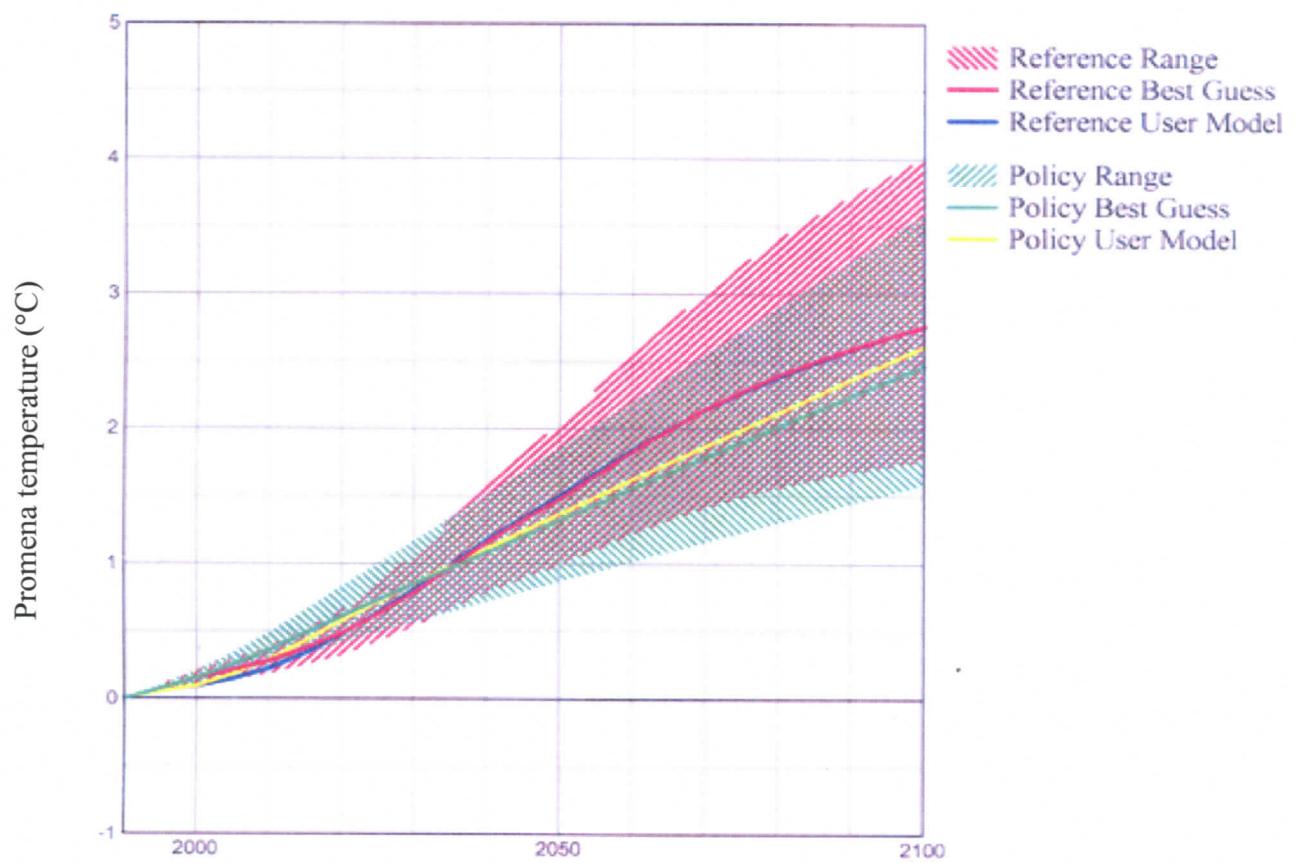
Forsiranje aerosolima:  $-1,3 \text{ Wm}^{-2}$  (mid)



Grafik 4

Model ugljenikovog ciklusa: 0,4 GtC (high)

Forsiranje aerosolima:  $-0,8 \text{ Wm}^{-2}$  (low)

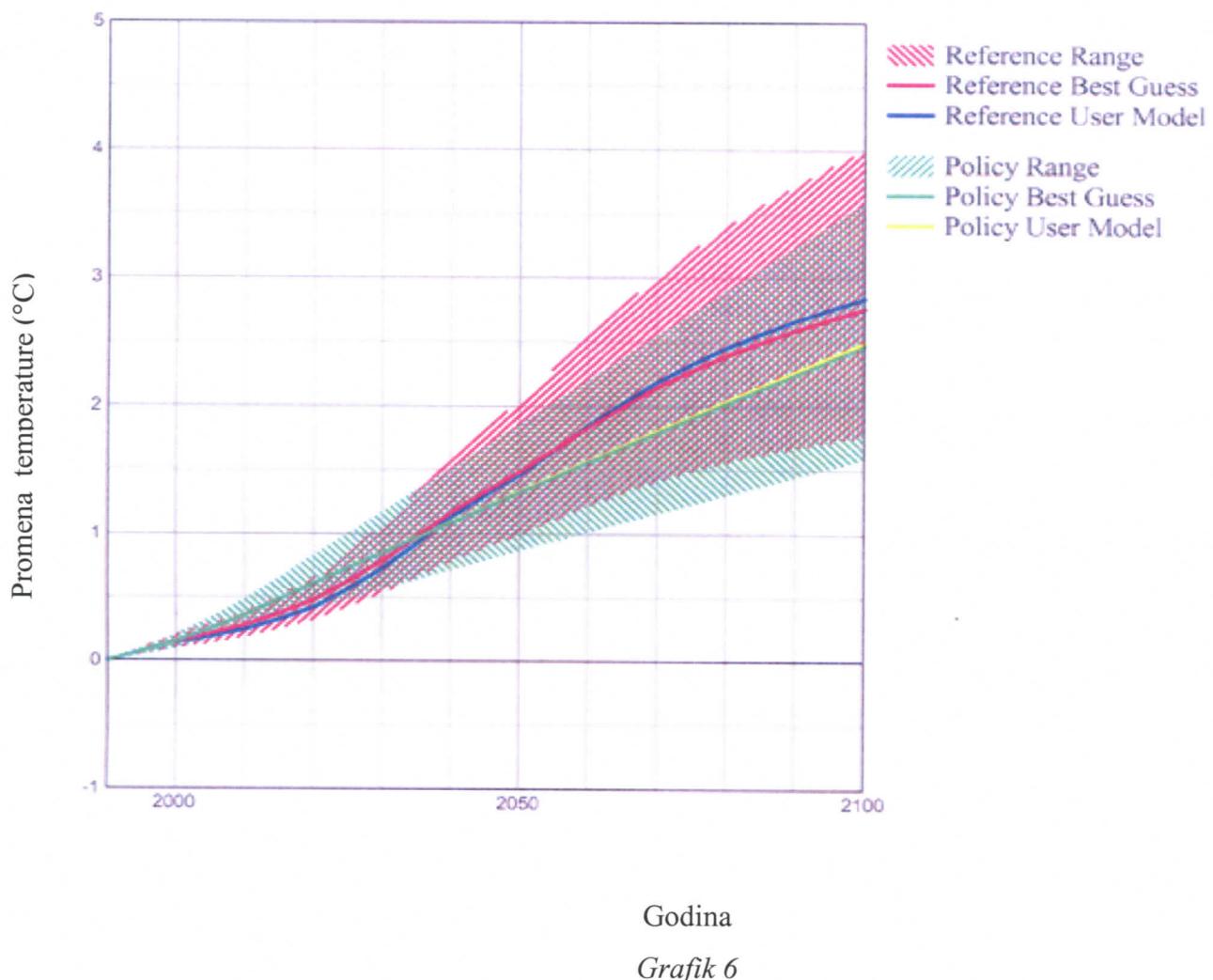


Godina

Grafik 5

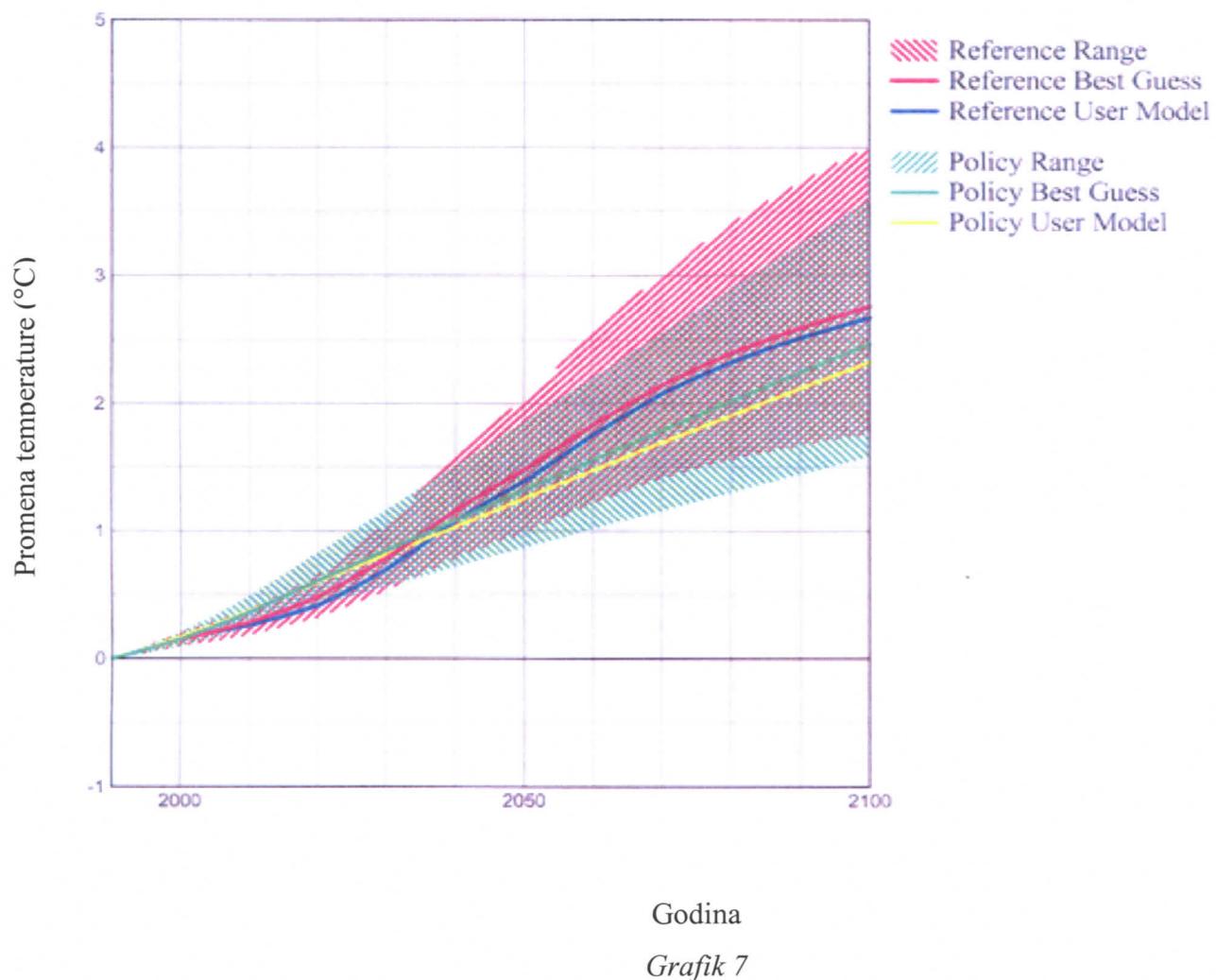
Model ugljenikovog ciklusa: 1,1 GtC (mid)

Forsiranje aerosolima:  $-1,8 \text{ Wm}^{-2}$  (high)



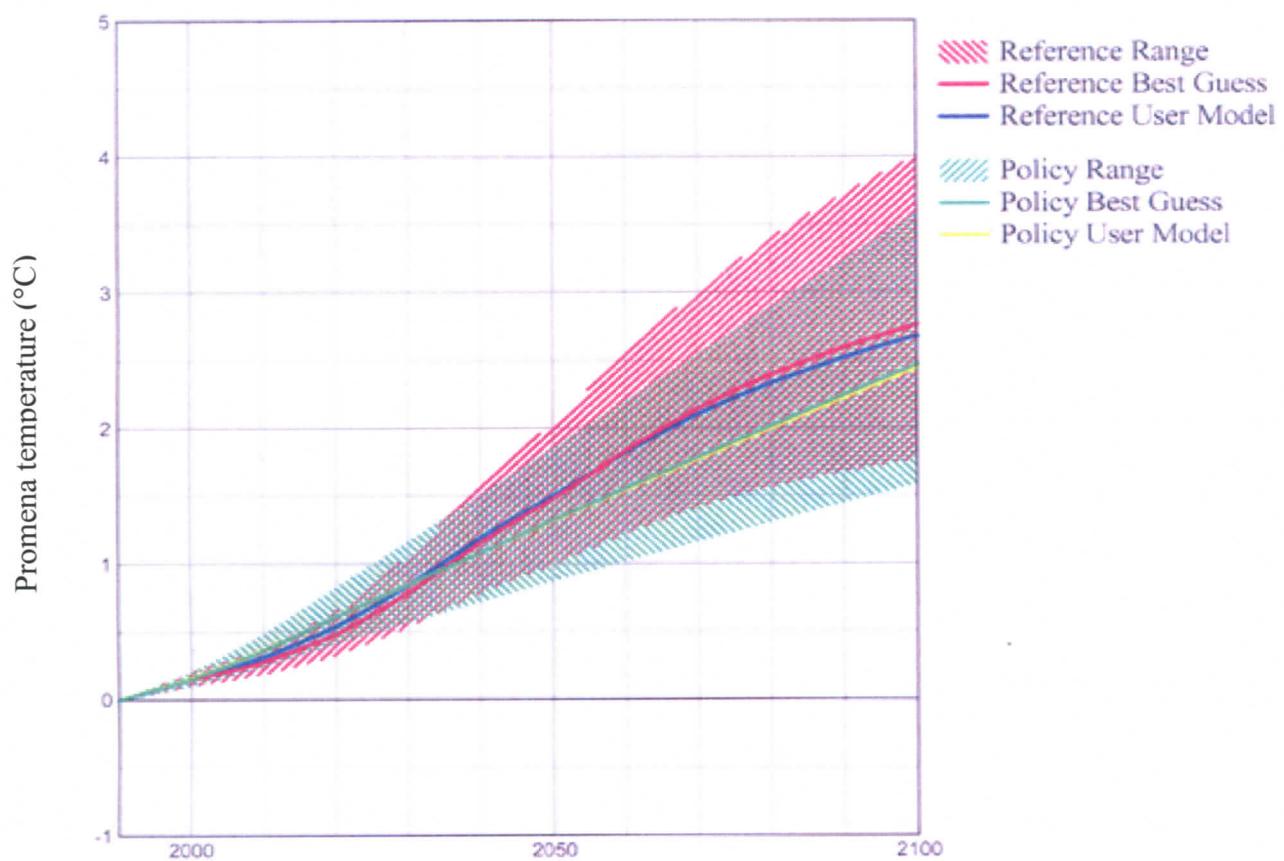
Model ugljenikovog ciklusa: 1,8 GtC (low)

Forsiranje aerosolima:  $-1,8 \text{ Wm}^{-2}$  (high)



Model ugljenikovog ciklusa: 1,1 GtC (mid)

Forsiranje aerosolima:  $-0,8 \text{ Wm}^{-2}$  (low)

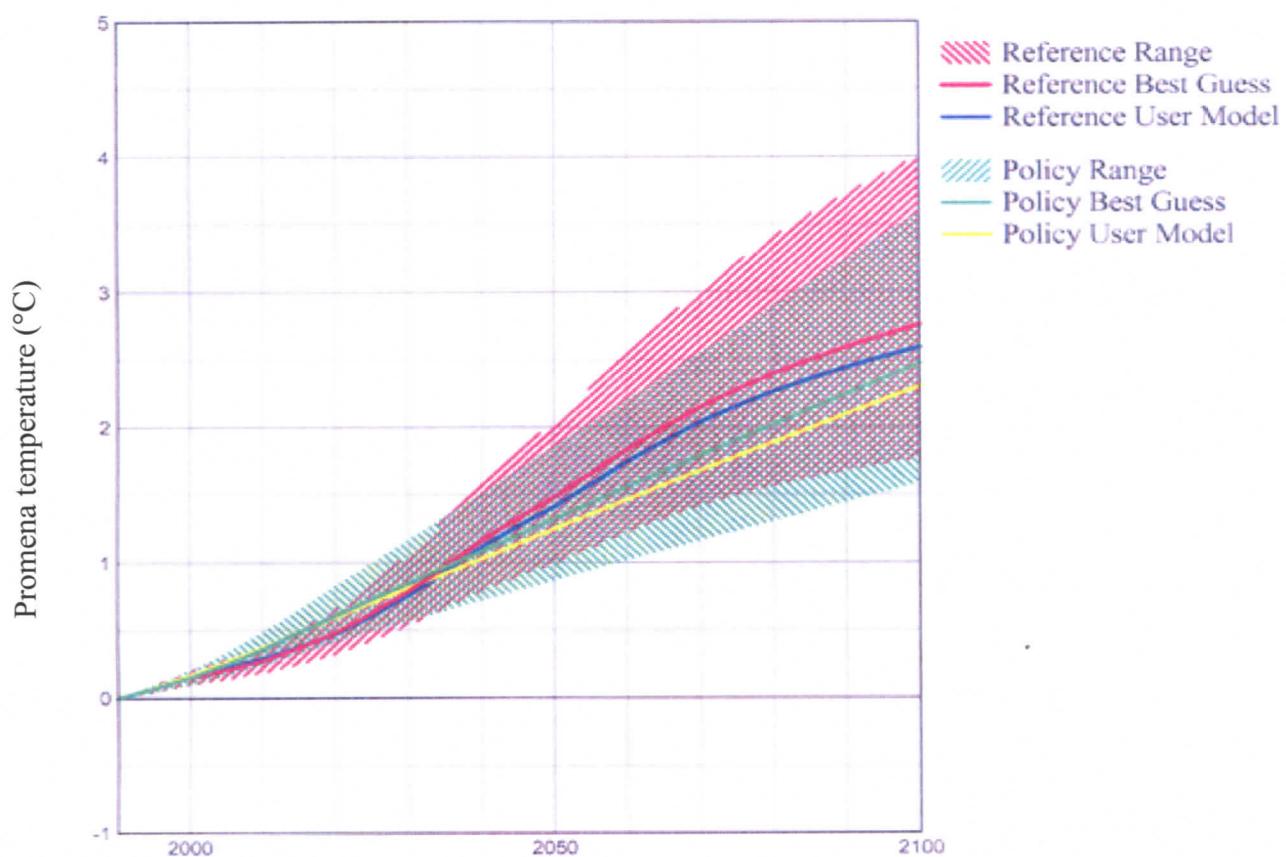


Godina

Grafik 8

Model ugljenikovog ciklusa: 1,8 GtC (low)

Forsiranje aerosolima:  $-1,3 \text{ Wm}^{-2}$  (mid)



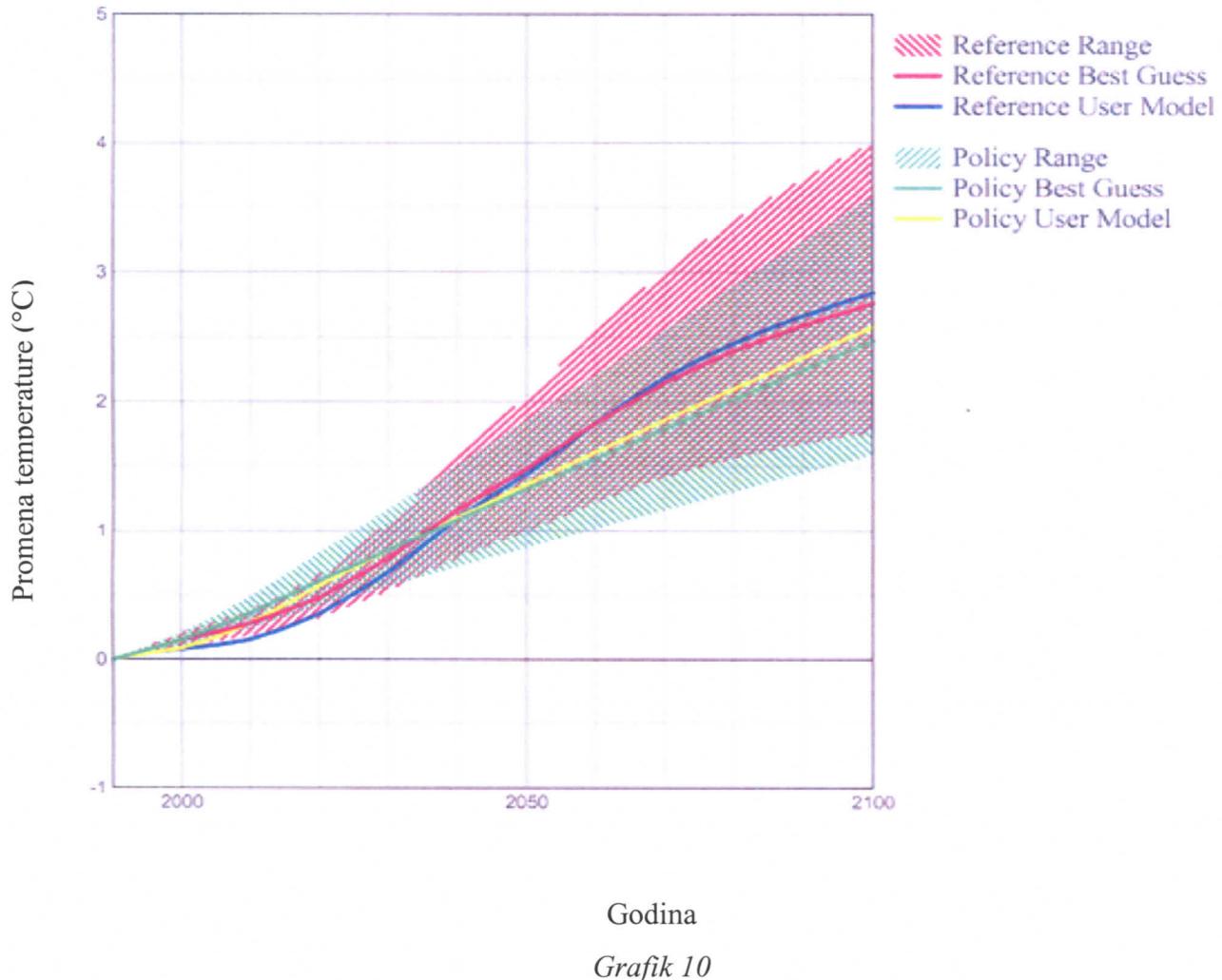
Godina

Grafik 9

## 5.2.2. Promena procenjene srednje temperature sa isključenom klimatskom povratnom spregom u ugljenikovom ciklusu, za različite vrednosti ostalih kontrolnih parametara

Model ugljenikovog ciklusa: 0,4 GtC (high)

Forsiranje aerosolima:  $-1,8 \text{ Wm}^{-2}$  (high)

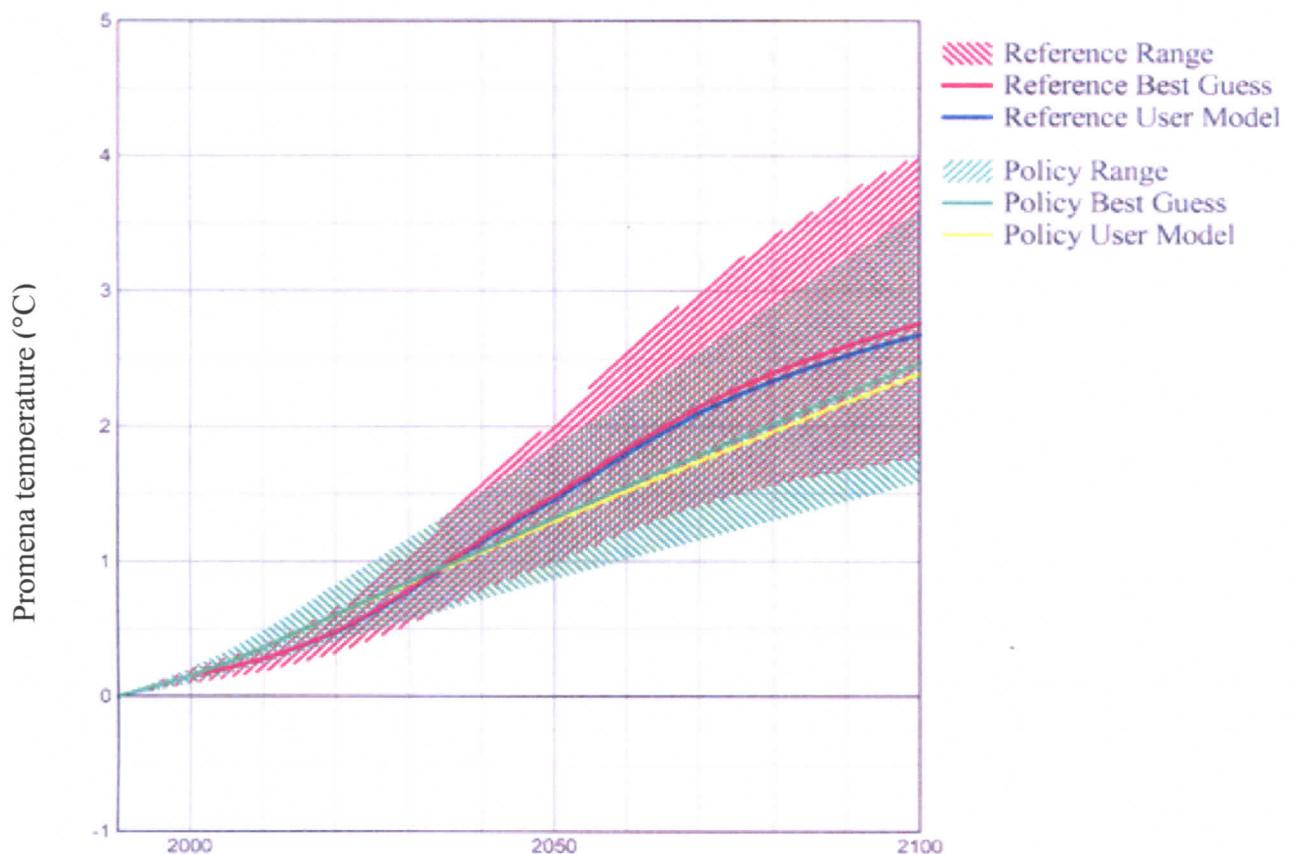


Godina

Grafik 10

Model ugljenikovog ciklusa: 1,1 GtC (mid)

Forsiranje aerosolima:  $-1,3 \text{ Wm}^{-2}$  (mid)

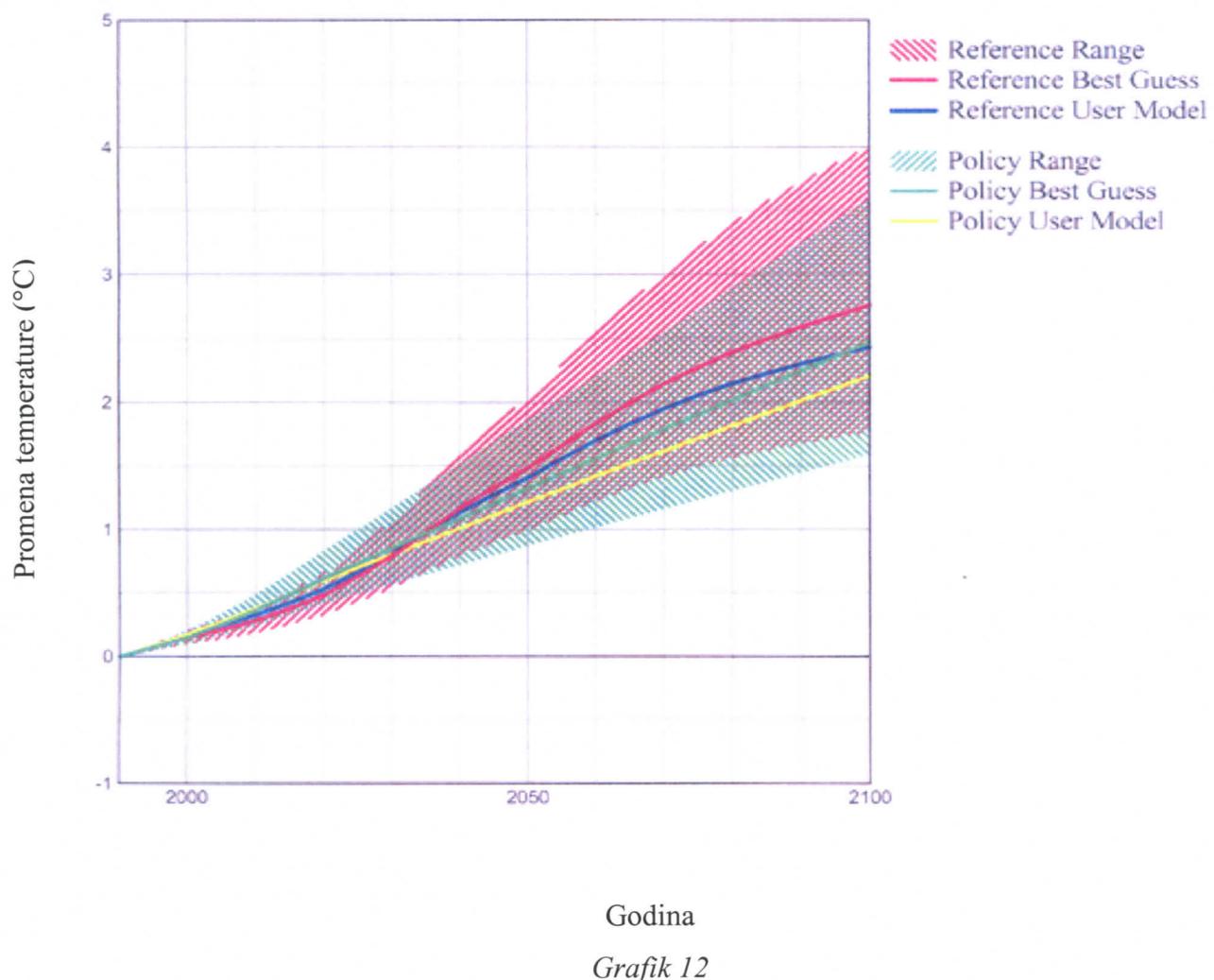


Godina

Grafik 11

Model ugljenikovog ciklusa: 1,8 GtC (low)

Forsiranje aerosolima: -0,8 Wm<sup>-2</sup> (low)

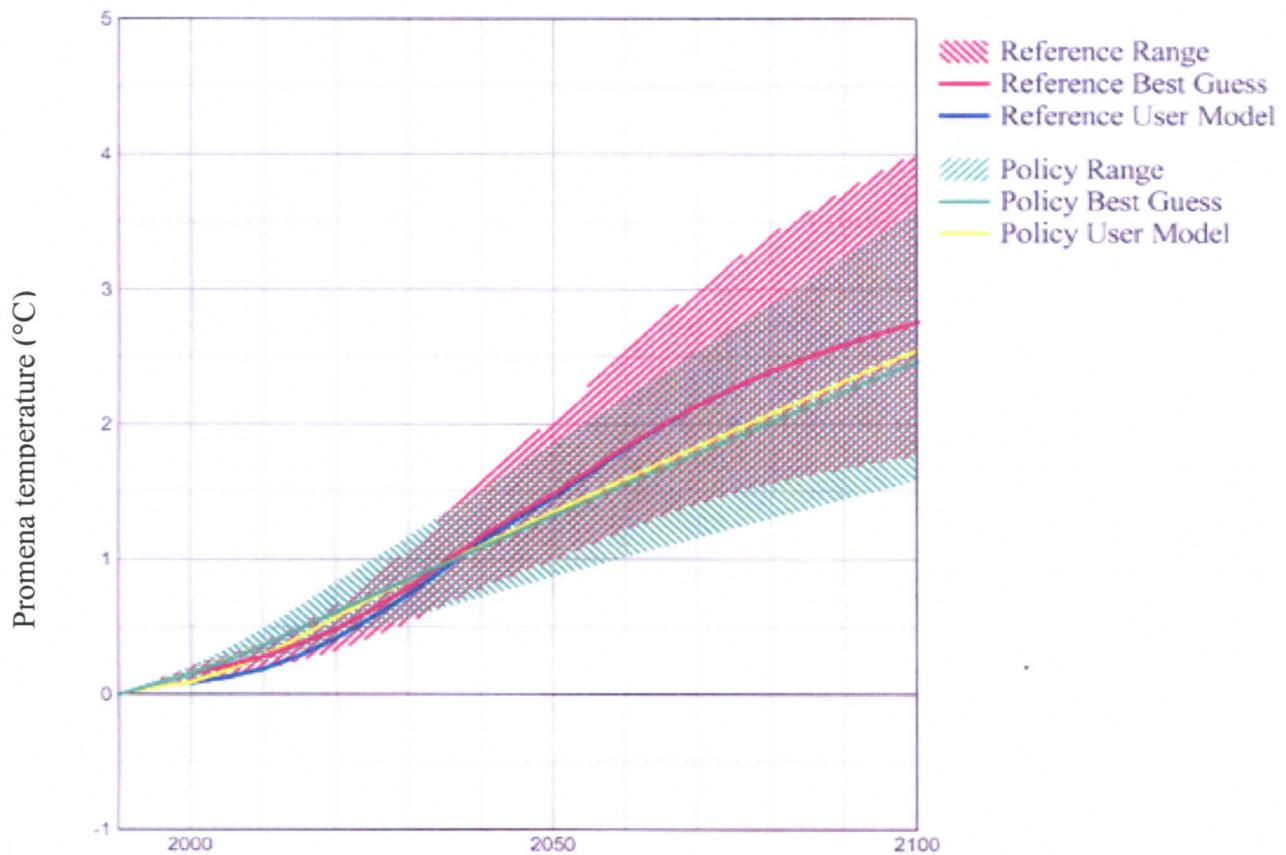


Godina

Grafik 12

Model ugljenikovog ciklusa: 0,4 GtC (high)

Forsiranje aerosolima:  $-1,3 \text{ Wm}^{-2}$  (mid)

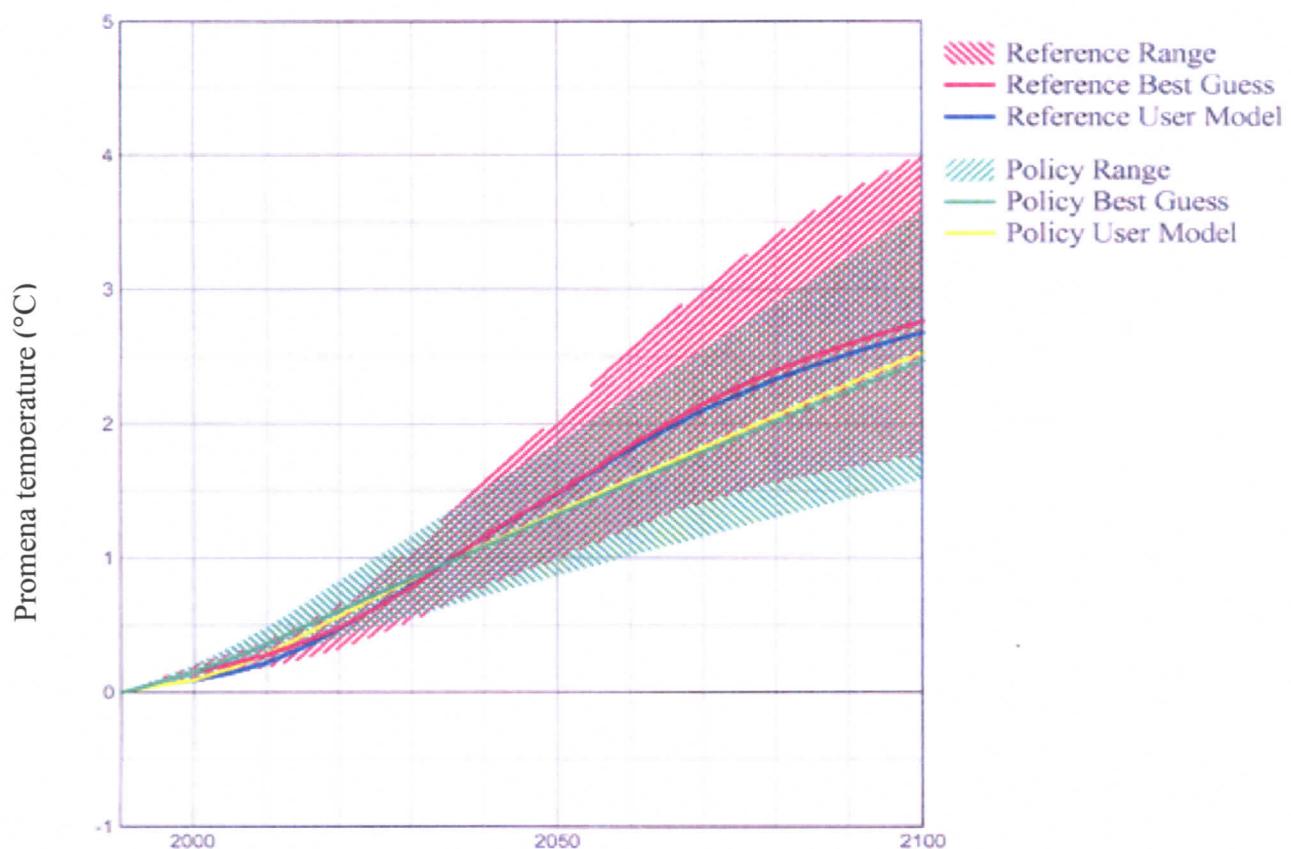


Godina

Grafik 13

Model ugljenikovog ciklusa: 0,4 GtC (high)

Forsiranje aerosolima: -0,8 Wm<sup>-2</sup> (low)

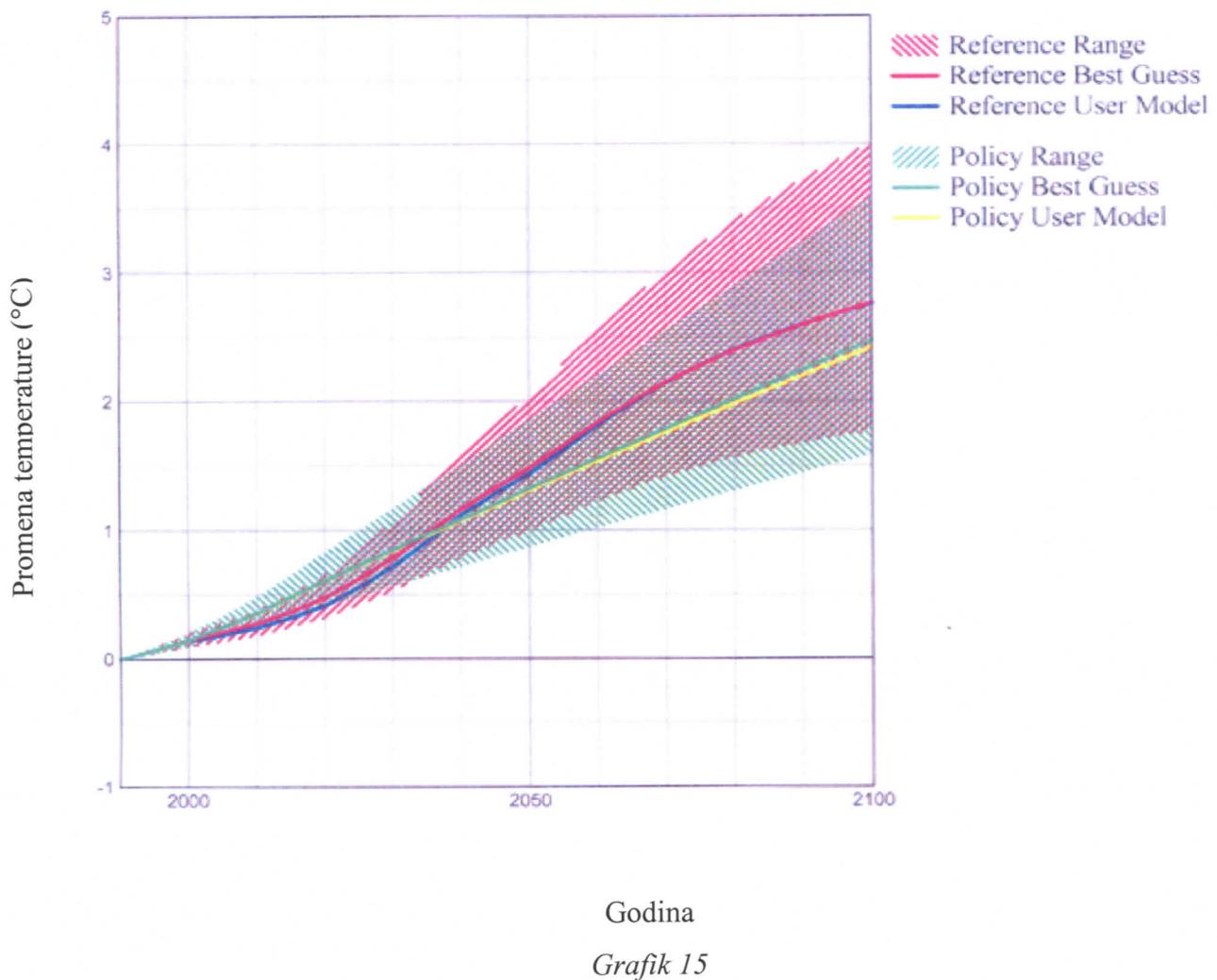


Godina

Grafik 14

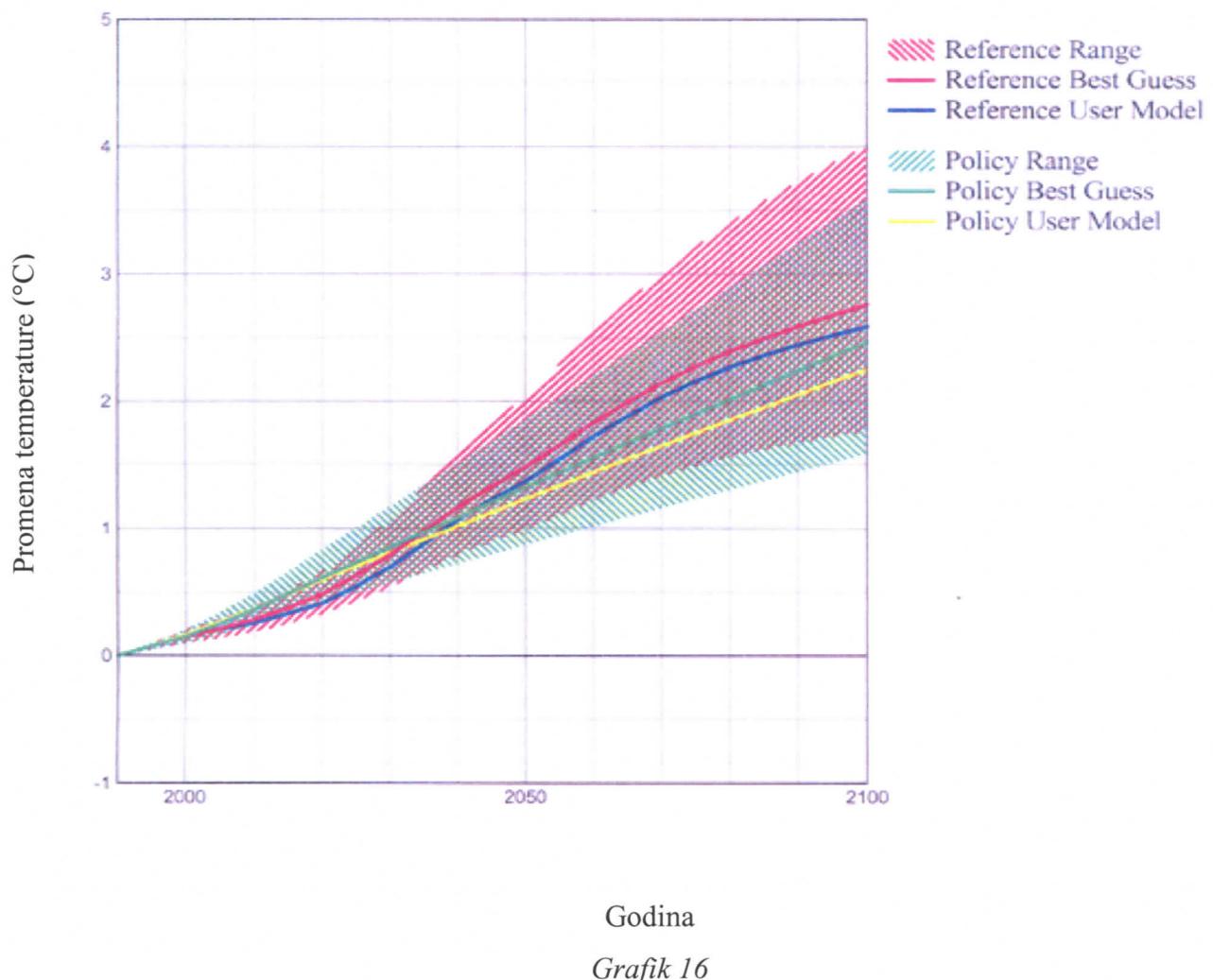
Model ugljenikovog ciklusa: 1,1 GtC (mid)

Forsiranje aerosolima:  $-1,8 \text{ Wm}^{-2}$  (high)



Model ugljenikovog ciklusa: 0,4 GtC (low)

Forsiranje aerosolima:  $-1,8 \text{ Wm}^{-2}$  (high)

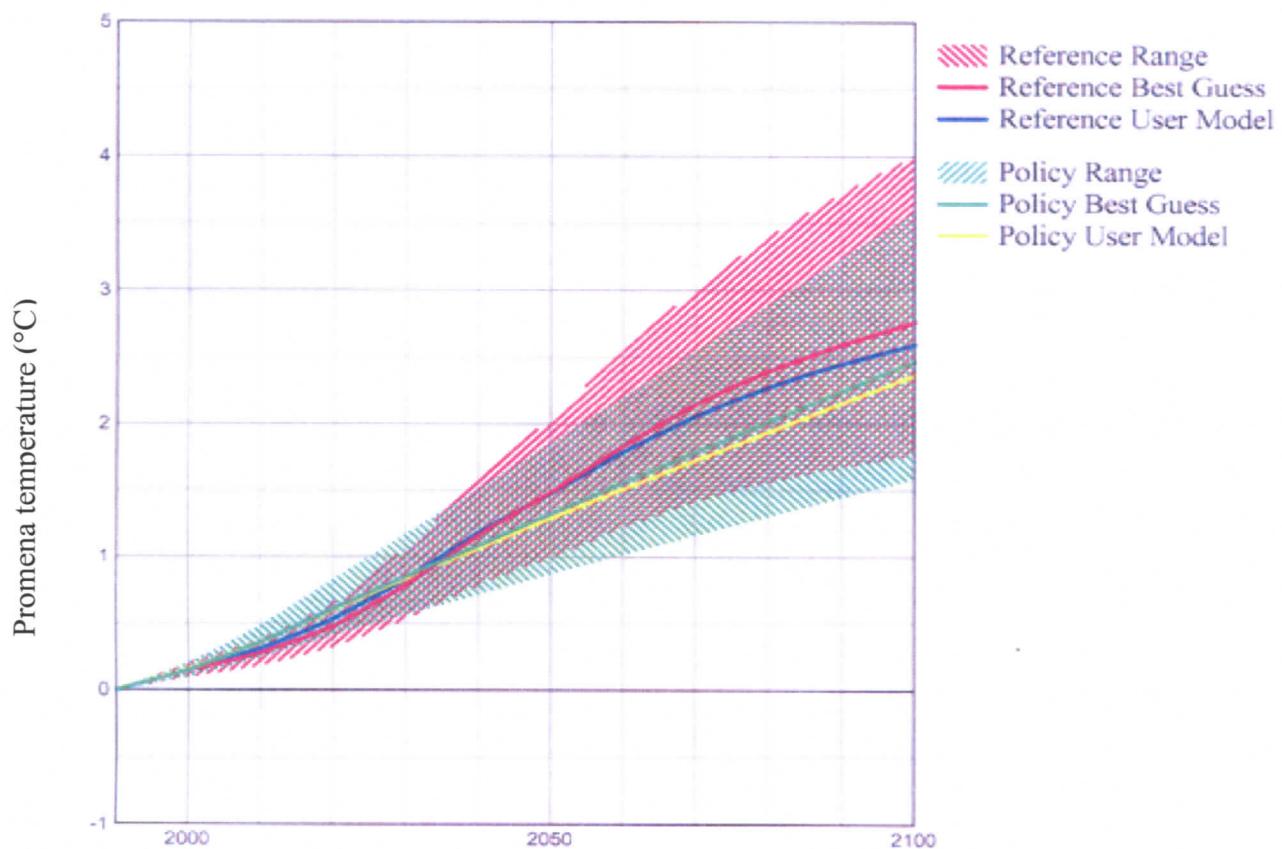


Godina

Grafik 16

Model ugljenikovog ciklusa: 1,1 GtC (mid)

Forsiranje aerosolima:  $-0,8 \text{ Wm}^{-2}$  (low)

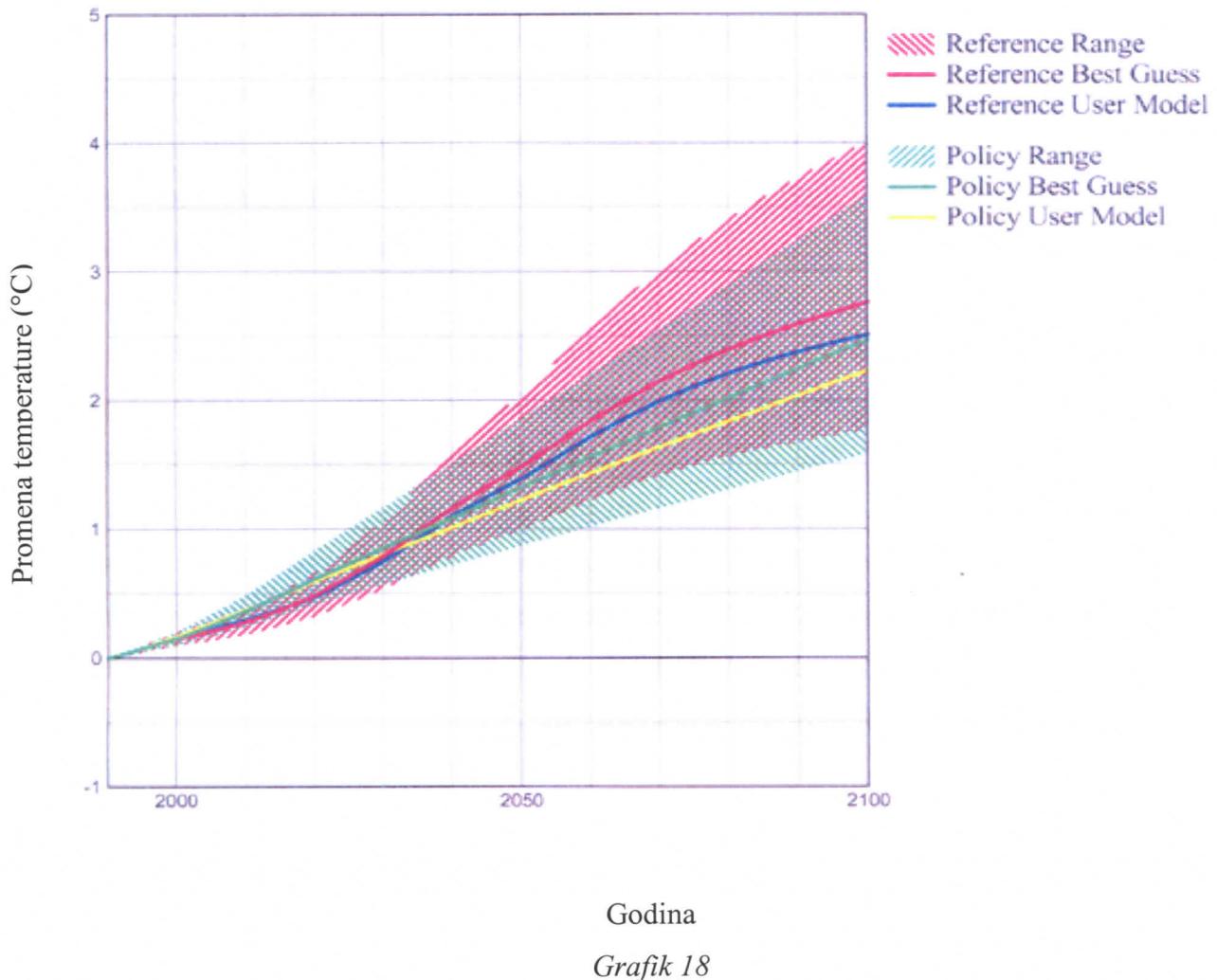


Godina

Grafik 17

Model ugljenikovog ciklusa: 1,8 GtC (low)

Forsiranje aerosolima:  $-1,3 \text{ Wm}^{-2}$  (mid)



Godina

Grafik 18

### **5.3. Analiza dobijenih rezultata**

Pošto je novina u trećem sinteznom izveštaju uključivanje kvantifikacije efekata klimatske povratne sprege u ugljenikovom ciklusu, razdvojili smo dva seta profila promene procenjene temperature, sa uključenom i sa isključenom povratnom spregom u ugljenikovom ciklusu. Ostali kontrolni parametri mogu uzeti tri vrednosti promene koncentracije CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta može imati visoku (0,4 GtC), srednju (1,1 GtC) i nisku (1,8 GtC) vrednost, a i forsiranje aerosolima može uzeti visoku (-1,8 Wm<sup>-2</sup>), srednju (-1,3 Wm<sup>-2</sup>) i nisku (-0,8 Wm<sup>-2</sup>) vrednost.

Na graficima su prikazane promene procenjene srednje temperature za Reference Best Guess, Reference User Model, Policy Best Guess i Policy User Model, kao i opseg nesigurnosti za Reference i Policy scenario.

U slučaju kada je uključena povratna sprega u ugljenikovom ciklusu, a vrednosti ostalih kontrolnih parametara (promena koncentracije CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta i forsiranje aerosolima) na srednjoj vrednosti (grafik 2.) vidimo da se Reference Best Guess i Reference User Model poklapaju, kao i Policy Best Guess i Policy User Model. Možemo zaključiti da su upravo to referentne vrednosti koje su uzete za Reference Best Guess i Policy Best Guess.

Ono što je uočljivo sa ostalih grafika je da je u toku prvih nekoliko dekada manje zagrevanje u Reference scenariju, kako za referentne vrednosti tako i za naše vrednosti parametara, iako su u Policy scenariju emisije gasova staklene bašte manje. Razlog za to je što Policy scenario u prvih nekoliko decenija osim predviđenog smanjenja emisija gasova staklene bašte, predviđa i smanjenje koncentracije aerosola, što uzrokuje povećanje temperature. Nakon tih par decenija i Policy scenario predviđa povećanje koncentracije aerosola te sumarno daje niže temperature od Reference scenarija.

Na graficima 1., 4. i 5. za visoke vrednosti koncentracije CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta menjamo vrednosti forsiranja aerosolima. Sa grafika 5. zapažamo da za nisko forsiranje aerosolima Reference User Model se svodi na slučaj Reference Best Guess. Ovde možemo zaključiti da se visoka koncentracija CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta i nisko forsiranje aerosolima međusobno kompenzuju, te se svode na slučaj referentnih vrednosti, tj. srednjim vrednostima forsiranja aerosolima i srednjoj vrednosti koncentracije CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta. Ono što uočavamo na graficima 1., 4. i 5. da u prvih par decenija Reference User Model daje niže vrednosti procenjene srednje temperature nego Reference Best Guess a u

poslednjih par decenija obrnuto. U izveštaju za Reference Best Guess smo našli da u prvih par dekada emisija aerosola u poređenju sa 1990. godinom ima pozitivnu vrednost a u zadnjih par dekada do 2100. godine ta vrednost je negativna i po apsolutnoj vrednosti značajno veća u poređenju sa prvih par dekada. Odatle zaključujemo da će u prvih par dekada za bilo koju vrednost forsiranja aerosolima Reference User Model davati nižu temperaturu nego Reference Best Guess, a u poslednjih par dekada višu jer je koncentracija aerosola manja u poređenju sa 1990. godinom pa će visoko i srednje forsiranje aerosolima još da je smanji.

Na graficima 6. i 8. samo se vrednosti forsiranja aerosolima razlikuju u odnosu na referentne vrednosti. Visoko forsiranje aerosolima u prvih par decenija snižava temperaturu, a u poslednjih par decenija temperatura Reference User Model je iznad Reference Best Guess (grafik 6.). Za nisko forsiranje aerosolima trend je obrnut (grafik 8). U prvih par dekada nisko forsiranje aerosolima daje procenjenu temperaturu za naše vrednosti parametara višu nego referentne vrednosti, a u poslednjih par dekada rezultira u većoj koncentraciji aerosola za naše parametre nego za referentne, te u nižoj temperaturi. Zapažamo da, varirajući parametar forsiranja aerosolima od visoke do niske vrednosti, menjamo trend procenjene temperature. Poredeći ta dva grafika vidimo da je neodređenost u uticaju aerosola velika.

Na graficima 3., 7. i 9. kada je koncentracija CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta niska, a menja se koncentracija aerosola vidimo da je za sva forsiranja aerosolima isti trend kao i u slučaju srednje vrednosti koncentracije CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta, osim za visoko forsiranje aerosolima kada za nisku koncentraciju CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta u poslednjih par dekada Reference User Model daje procenjenu temperaturu nižu nego Reference Best Guess. Razlog za to je što niska koncentracija CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta generalno vodi do nižih procenjenih temperatura modela pa u ovom slučaju krivu Reference User Model spušta ispod Reference Best Guess.

Poredeći grafike 2., 4. i 9. zatim 1., 6. i 7. i na kraju 3., 5. i 8., na kojima je forsiranje aerosolima konstantno, a variramo koncentraciju CO<sub>2</sub> usled korišćenja temljišta, vidimo da značajan naročito od 2040. godine pa nadalje.

Sa grafika 10. gde je isključena povretna sprega u ugljenikovom ciklusu zapažamo da kada je visoka koncentracija CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta i forsiranje aerosolima trend temperature je kao i kada je uključena povratna sprega u ugljenikovom ciklusu (grafik 1.), samo što će od 2040. godine pa nadalje Reference User Model temperature biti nešto niže za naše vrednosti parametara. Na grafiku 13. u prvih nekoliko dekada je situacija slična kao i na grafiku 4., a u poslednjih nekoliko decenija vidimo da visoka koncentracija CO<sub>2</sub> usled korišćenja zemljišta i isključena povratna sprega u ugljenikovom ciklusu kao da se

međusobno kompenzuju do referentnih vrednosti sa uključenom povratnom spregom u ugljenikovom ciklusu. Sa grafika 14. uočavamo da je u prvih par dekada situacija slična kao i na grafiku 5. ali isključena povratna sprega u ugljenikovom ciklusu vodi do toga da je zadnjih par decenija procenjena temperatura za Reference User Model ispod procenjene temperature za Reference Best Guess. Poredeiti grafik 11. i grafik 2. možemo zaključiti da isključena povratna sprega u ugljenikovom ciklusu u zadnjim dekadama snižava temperaturu pa se u tom periodu više ne preklapaju Reference User Model i Reference Best Guess. Isključena povratna sprega u ugljenikovom ciklusu snižava temperaturu pa u zadnjim dekadama dolazi do preklapanja Reference User Model i Reference Best Guess (grafik 15.), za razliku od situacije sa uključenom povratnom spregom u ugljenikovom ciklusu (grafik 6.). Poredeći grafike 8. i 17. vidimo da je ponašanje krivih kvalitativno isto kako i sa uključenom i isključenom povratnom spregom u ugljenikovom ciklusu, samo što isključena povratna sprega u ugljenikovom ciklusu više snižava temperaturu i po Reference i po Policy scenariju.

Na graficima 12., 16. i 18. zapaža se isti trend, kao i u slučaju uključene povratne sprege u ugljenikovom ciklusu (grafici 3., 7. i 9.). Isključena povratna sprega u ugljenikovom ciklusu snižava temperaturu Reference User Model i Policy User Model. Interesantno je zapaziti da kada su niske koncentracije  $\text{CO}_2$  i aerosola, a isključena povratna sprega u ugljenikovom ciklusu, nešto pre 2100. godine dolazi do preklapanja Reference User Model i Policy Best Guess.

## **5.4. Zaključak**

U ovom diplomskom radu ispitali smo kako kolebanja klimatskih parametara utiču na procenjenu srednju temperaturu. Program MAGICC nam omogućava da odredimo procenjenu srednju globalnu temperaturu i njen uticaj na nivo mora i okeane na osnovu promene parametara forsiranja. U analizi smo razmatrali ulogu intenziteta povratne sprege u ugljenikovom ciklusu i pokazali da je zbirni efekat pozitivna povratna sprega tako da njeno uključivanje dovodi do veće koncentracije CO<sub>2</sub> i samim tim više temperature. Uticaj uključenja povratne sprege je značajniji u poslednjim dekadama posmatranog u vremenskog intervala. Poredeći sa nekim podacima iz literature možemo zaključiti da MAGICC koristi vrednosti povratnih sprega koji daje zbirnu klimatsku povratnu spregu koja je neznatno niža od drugih modela. Ipak treba imati u vidu da ovaj rezultat krije velike nesigurnosti koje karakterišu kvantifikaciju ovih povratnih sprega. Različito forsiranje aerosolima menja trend srednje procenjene temperature oko 2040. godine. Razlog za to je što su referentne vrednosti emisije aerosola u prvih par dekada u poređenju sa 1990. godinom ima pozitivnu vrednost a u zadnjih par dekada do 2100. godine, ta vrednost je negativna i po absolutnoj vrednosti značajno veća u poređenju sa prvih par dekada. Ispitući uticaj korišćenja zemljišta zaključili smo da je značajno naročito od 2040. godine pa nadalje.

### **Literatura:**

1. Houghton, John 1997. Global Warming: *the Complete Briefing*. Cambridge University Press, 251 pp.
2. IPCC 2001. Climate Change 2001: *Mitigation Contribution of Working Group III to the Third Assessment*, str. 2-14.
3. Radinović Đuro, 1984: *Klimatologija-opšta i regionalna*. Prirodno matematički fakultet Univerziteta u Beogradu i Jugoslovenski zavod za produktivnost rada i informacione sisteme, str. 70-91 i 95-97.
4. Krzysztof Szilder, Edward P. Lozowski, Gerhard W. Reuter: A stochastic model of global atmospheric response to enhanced greenhouse warming with cloud feedback. *Atmospheric Research*, str. 47-48 (1998), str.475-489.
5. Skripta iz „Modeliranja atmosfere II“, dr Dragutin T. Mihailović
6. Mehanizam čistog razvoja Kjoto protokola, Ministarstvo rudarstva i energetike
7. Skripta iz „Modeliranja transportnih procesa u atmosferi“, mr Ilija Arsenić

### *Web adrese*

8. [www.rgf.bg.ac.rs](http://www.rgf.bg.ac.rs)
9. [sr.wikipedia.org/sr-el/Azotni\\_oksidi](http://sr.wikipedia.org/sr-el/Azotni_oksidi)
10. [cem-gorskestaze.cg.yu/ozon2.htm](http://cem-gorskestaze.cg.yu/ozon2.htm)

## **Biografija**



Rođena sam 04.03.1984. u Novom Sadu. Završila sam Osnovnu školu "Svetozar Marković-Toza" u Novom Sadu. Godine 1999. upisala sam gimnaziju „Jan Kolar“ u Bačkom Petrovcu. Po završetku srednje škole, godine 2003. upisala sam Prirodno-matematički fakultet, odsek za fiziku, smer diplomirani fizičar – meteorolog.

**UNIVERZITET U NOVOM SADU**  
**PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET**

*KLjUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA*

*Redni broj:*

**RBR**

*Identifikacioni broj:*

**IBR**

*Tip dokumentacije:*

**TD**

Monografska dokumentacija

**TZ**

*Tip zapisa:*

Tekstualni štampani materijal

**Vrsta rada:**

**VR**

Diplomski rad

**Autor:**

**AU**

Milica Rebić

*Mentor:*

**MN**

dr Milica Pavkov-Hrvojević, vanredni profesor

**JP**

*Jezik publikacije:*

**JP**

Uticaj osnovnih kontrolnih prarmetara programa MAGICC  
na promenu procenjene srednje globalne temperature

srpski (latinica)

**JI**

*Jezik izvoda:*

**JI**

srpski/engleski

**ZP**

*Zemlja publikovanja:*

**ZP**

Srbija

**UGP**

*Uže geografsko područje:*

**UGP**

Vojvodina

**GO**

*Godina:*

**GO**

2009

**Izdavač:**

**IZ**

Autorski reprint

**MA**

*Mesto i adresa:*

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,  
Novi Sad

**FO**

*Fizički opis rada:*

5/72/41 / 10/ 3

**NO**

*Naučna oblast:*

Fizika

**ND**

*Predmetna odrednica/ ključne reči:*

C-ciklus, forsiranje aerosolima

**PO**

**UDK**

*Čuva se:*

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

**ČU**

*Vazna napomena:*

nema

**VN**

*Izvod:*

**IZ**

Program MAGICC nam omogućava da odredimo  
procenjenu srednju globalnu temperaturu i njen  
uticaj na nivo mora i okeane na osnovu promene  
parametara forsiranja.

*Datum prihvatanja teme od NN veća:*

**DP**

*Datum odbrane:*

01.07.2009.

**DO**

*Članovi komisije:*

**KO**

*Predsednik:*

dr Agneš Kapor, redovan profesor, predsednik

*član:*

dr Milica Pavkov-Hrvojević, vanredni profesor, mentor

*član:*

dr Borivoj Rajković , vanredni profesor, član

**UNIVERSITY OF NOVI SAD**  
**FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS**

**KEY WORDS DOCUMENTATION**

*Accession number:*

**ANO**

*Identification number:*

**INO**

*Document type:*

Monograph publication

**DT**

*Type of record:*

Textual printed material

**TR**

*Content code:*

Final paper

**CC**

*Author:*

Milica Rebić

**AU**

*Mentor/comentor:*

dr Milica Pavkov-Hrvojević, associate professor

**MN**

*Title:*

The Influence of the Basic Control Parametars of Programm  
MAGICC on the Change of Estimated Mean Global Temperature  
Serbian (Latin)

**TI**

*Language of text:*

English

**LT**

*Language of abstract:*

English

**LA**

*Country of publication:*

Serbia

**CP**

*Locality of publication:*

Vojvodina

**LP**

*Publication year:*

2009.

**PY**

*Publisher:*

Author's reprint

**PU**

*Publication place:*

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4,  
Novi Sad

**PP**

*Physical description:*

5/72/41 / 10/ 3

**PD**

*Scientific field:*

Physics

**SF**

*Scientific discipline:*

Meteorology

**SD**

*Subject/ Key words:*

C-cycle, aerosol forcing

**SKW**

**UC**

*Holding data:*

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

**HD**

*Note:*

none

**N**

*Abstract:*

MAGICC programme able as to get estimated mid global  
temperature and its influence on oceans and sea level regarding  
changes of forceing parametres.

*Accepted by the Scientific Board:*

**ASB**

*Defended on:*

01.07.2009.

**DE**

*Thesis defend board:*

**DB**

*President:*

Agneš Kapor, Ph. D., full professor," Faculty of Natural Sciences-  
Department of Physics", Novi Sad

*Member:*

Milica Pavkov-Hrvojević, associate professor " Faculty of Natural  
Sciences- Department of Physics", Novi Sad, supervisor

*Member:*

Borivoje Rajković, Ph. D.,associate professor,"Faculty of Physics ",  
Beograd

